

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

présenté pour l'obtention du MASTER 3A (Agronomie et Agroalimentaire)

Spécialité : Hortimet

Horticulture méditerranéenne et tropicale

EVALUATION BIOLOGIQUE & AGRONOMIQUE DE FILETS DE PROTECTION CONTRE LA TEIGNE DES CRUCIFERES (*Plutella xylostella* L.)

par

Hubert K. COFFI

Année de soutenance : 2010

Organisme d'accueil : UPR HORTSYS / CIRAD

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

présenté pour l'obtention du MASTER 3A (Agronomie et
Agroalimentaire)

Spécialité : Hortimet

Horticulture méditerranéenne et tropicale

EVALUATION BIOLOGIQUE & AGRONOMIQUE DE FILETS DE PROTECTION CONTRE LA TEIGNE DES CRUCIFERES (*Plutella xylostella* L.)

par

Hubert K. COFFI

Mémoire préparé sous la direction de :
Bruno JALOUX

Organisme d'accueil : UPR HORTSYS
/ CIRAD

Présenté le : 22/09/2010

devant le Jury :

- Jean Luc REGNARD
- Yvan CAPOWIEZ
- Eric MALEZIEUX

Maître de Stage : Thibaud MARTIN /
Serge SIMON

Diffusion du mémoire*(tous les champs sont obligatoires)

A remplir par l'auteur avec le maître de stage.

Aucune confidentialité ne sera prise en compte si la durée n'en est pas précisée.

Préciser les limites de la confidentialité ⁽¹⁾ :

Mémoire de fin d'études :

Consultable sur place : ☒ oui ☐ non

Reproduction autorisée : ☒ oui ☐ non

Prêt autorisé : ☒ oui ☐ non

Confidentialité absolue : ☐ oui ☒ non
(ni consultation, ni prêt)

Si oui ☐ 1 an ☐ 5 ans ☐ 10 ans

Diffusion de la version numérique : ☒ oui ☐ non

Fiche de résumé du mémoire de fin d'études :

Résumé diffusable : ☒ oui ☐ non

Si oui, l'auteur complète l'autorisation suivante :

Je soussigné(e) Hubert K. COFFI , propriétaire des droits de reproduction dudit résumé, autorise toutes les sources bibliographiques à le signaler et le publier.

Date :

Signature :

A....., le

Le Maître de stage⁽²⁾,

L’auteur,

L’Enseignant responsable d’option⁽²⁾,

(1) L’administration, les enseignants et les différents services de documentation d’AgroCampus Ouest Centre d’Angers et de Montpellier SupAgro s’engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l’organisme.

Fiche de résumé / abstract

	Master 3A (Agronomie et Agroalimentaire) Spécialité : Hortimet Parcours : Horticulture méditerranéenne et tropicale Enseignants responsables de l'option : MM. Regnard et Geoffriau Tuteur : M. Bruno JALOUX	 Centre d'Angers Institut National d'Horticulture et de Paysage
Auteur(s) : COFFI Kacou Hubert		Organisme d'accueil : CIRAD Adresse :
Nb pages :	Annexe(s) :	Maître de stage : Thibaud Martin / Serge Simon
Année de soutenance : 2010		
Titre : Evaluation biologique et agronomique de filets de protection contre la Teigne des crucifères (<i>Plutella xylostella</i> L.)		
<p>Résumé :</p> <p>Depuis ces vingt dernières années, les filets anti-insectes sont utilisés comme barrière physique pour empêcher l'entrée des ravageurs par les ouvrants des serres et abri-filets. Les adapter aux cultures de Brassicaceae de plein champ, des tropiques, où <i>Plutella xylostella</i> L. est le ravageur majeur nécessite une meilleure connaissance du comportement de ce ravageur. Cette étude vise à optimiser la taille des mailles pouvant exclure cet insecte, à analyser son comportement d'oviposition en présence des filets, ainsi que les effets des filets sur d'autres ravageurs, les maladies et la culture. Sur cinq mailles différentes de filets évalués, une seule s'est avérée efficace à exclure totalement les adultes de <i>P. xylostella</i>. Le matériau des filets n'a pas eu d'effet significatif sur les pontes de <i>P. xylostella</i>, à la différence du type de filament. Les femelles n'ont pas pondu sur les filets monofilament et ont préféré pondre sur les feuilles en contact avec celui-ci. En revanche elles ont pondu sur les filets multifilament qu'il y ait contact foliaire ou non et le nombre d'œufs a été équivalent entre feuilles et filets quand ils se touchaient. Les tests de choix en laboratoire ont montré que les femelles préféraient significativement les supports de ponte non protégés. Au champ, il n'y a pas eu de différences significatives entre l'unique maille efficace du laboratoire et une maille excluant à peine 50% des adultes. Ces deux filets étaient significativement différents du témoin. Un filet peu efficace au laboratoire peut donc s'avérer efficace au champ. Cela semble être due à la présence de plants protégés et non protégés. L'utilisation de plants non protégés, utilisés en culture intercalaire et/ou comme plants piège pourrait donc renforcer l'efficacité des filets. Aux champs, les filets ont augmenté la température et ont eu un impact sur les infestations d'oïdium.</p>		
<p>Abstract :</p> <p>Since the last two decades, Insect exclusion screens have been used as physical barriers to insect pest entry in greenhouse and screenhouse via openings. Using screens requires a better understanding of pest behavior for low tunnel field production of Brassica in tropical area where the key pest is the diamondback moth (DBM). This paper deals with optimization of mesh size against DBM and with its oviposition behavior in front of screens. Screen effect on other insect pest infestations and on microclimate, diseases, and cabbage are also discussed. Five different mesh sizes were laboratory tested but only one was effective in excluding totally DBM adults. DBM oviposition was not significantly affected by screen material, but was influenced significantly by filament type. Females were not able to oviposit on monofilament and preferred laying eggs on leaves that touch it. In contrast, females oviposited on multifilament screens even when no leaves were in contact with it. Eggs load were as important on screens as on leaves in contact with it. In laboratory choice test females showed a significant preference for unprotected plant as oviposition support. In field experiment, there were no significant differences between the effective mesh size tested in laboratory and another that excluded only about 50% of pest. Both nets were significantly different from unprotected cultivated area used as the control. These results suggest that low effective screen in laboratory conditions can be effective for field use. Efficiency of such ineffective screen in field experiment was probably due to presence in trials of both, protected and unprotected plants. These results suggest that screen efficacy can be reinforced by unprotected Brassica used as intercrops and/or trap crops. In the field trial, screens contributed to increase temperature and to powdery mildew infestation.</p>		
Mots-clés : Filet anti-insecte ; <i>Plutella xylostella</i> ; Oviposition ; Brassicaceae, Keywords : Insect exclusion screen ; <i>Plutella xylostella</i> , Oviposition behavior, Brassica crops,		

AgroCampus Ouest Centre d'Angers - Institut National d'Horticulture et de Paysage, 2 rue Le Nôtre, 49045 Angers
Cedex 01

Remerciements

En Afrique, lorsque les oiseaux chantent, les anciens prétendent, qu'ils nous transmettent un message. Le coq, parmi les oiseaux, à la double particularité d'être connu dans nos contrées africaine et d'être un symbole en France. A ce bipède familier, je confie, la lourde tâche de transmettre mes remerciements les plus sincères à vous tous dont je resterai longtemps redevables, tant votre contribution a été déterminante, dans l'accomplissement de cet ouvrage et des travaux qu'il abrite derrière sa relative simplicité. Ainsi, chaque fois que vous entendrez un coq chanter, à la télévision, ou dans la nature, prenez la peine d'écouter attentivement, et vous verrez, qu'il vous transmet mes remerciements.

Ils sont légions, en effet, ceux dont nous sommes redevables et de peur d'en frustrer certains, que j'aurai oublié de mentionné sur la liste qui suit, je vous prierai d'accepter mes excuses les plus sincères.

Mes pensées vont en particulier vers :

-Ma famille, mes amis (en particulier Dim et son épouse) qui m'ont encouragé et soutenu dans cette aventure ;

-Mes enseignants de Montpellier SupAgro et Agrocampus Ouest, qui ont été formidables et ont su transmettre leur engouement aux étudiants que nous sommes. Et je citerai en particulier les Professeurs Jean Luc Regnard, Jean Claude Mauget et Emmanuelle Geauffriau, pour avoir accepté ma candidature au Master HORTIMET et pour leur disponibilité tout au long de cette année. J'espère que vous ne regrettez pas aujourd'hui. Mais également Mme Claudie Lambert, pour son soutien, et son attachement à notre bande d'ALIEN, lors de notre passage à Angers ;

-Mon Tuteur de stage M. Bruno Jaloux, pour ses conseils et Mme Catherine Çaldumbide, qui m'a initié à la recherche bibliographique ;

-Le personnel de l'Unité HORTSYS, en particulier M. Eric Malezieux, le responsable, mes deux encadreurs : Serge Simon et Thibaud Martin (merci pour l'accueil, pour vos conseils et remarques)

-Le personnel du CIRAD logé au CSIRO, pour leur accueil et leur soutien. M. Dominique Bordat et Mme Laurence Arvanitakis (Sans vous je serai encore au début de mon étude), M. Philippe Ryckewaert (merci pour l'initiation et l'enthousiasme transmis).

-le personnel du CSIRO : vous êtes formidables. Merci à José, pour le support technique, à Mireille, pour les conseils et le coup de pouce sur les maladies fongiques, aux autres pour leurs bonnes humeurs et leur disponibilité.

-Les autres stagiaires : Aurélien (Nos petits papillons nous manqueront, j'en suis sûr) et Virginie (vivement la chute de cette coquille, CALIMERO).

- Aux autres étudiants du master HORTIMET (2009-2010) : ma seconde famille.

-A tous ceux que j'aurais oubliés (désolé, j'ai encore des pages à écrire)

Sommaire

Remerciements	7
Liste des tableaux	10
Liste des figures	10
Introduction	13
Revue de littérature	14
1-Présentation du ravageur : <i>Plutella xylostella</i> L. (Lepidoptera-Plutellidae)	14
1-1-Généralités (Origine, identification et géographie)	14
1-2-Biologie et écologie	14
1-3-Dégâts et stratégies de lutte	15
2-Généralités sur l'utilisation des filets anti-insectes	15
2-1-Quelle efficacité des mailles des filets anti-insectes ?	16
2-2-Utilisation des filets anti-insectes contre les lépidoptères	17
2-3-Les filets anti-insectes et la protection intégrée	18
2-4-Impact des filets anti-insectes sur le microclimat des cultures	20
3-Conclusion partielle	22
Matériels & méthodes	23
1-Matériels d'étude au laboratoire et analyse statistiques	23
1-1-Les insectes et les plantes	23
1.2-Les filets anti-insectes	23
2-Evaluation au laboratoire de l'efficacité des filets comme barrière physique	23
3-Etude en laboratoire du comportement d'oviposition de <i>P. xylostella</i>	24
3-1-Evaluation des supports de ponte en boîte de Pétri	24
3-1-1-Test sans choix	24
3-1-2-Tests de choix	24
3-2-Comportement de ponte face à un plant protégé par un filet	25
3-2-1-Test sans choix	25
3-2-2-Test de choix	26
4-Evaluation de l'efficacité du système de culture sous filet au champ	26
5-Analyse statistiques	27
Résultats	30

1- Evaluation au laboratoire de l'efficacité des filets comme barrière physique	30
1-1-Contre <i>P. xylostella</i>	30
1-2-Contre <i>C. plutellae</i>	30
2-Etude en laboratoire du comportement d'oviposition de <i>P. xylostella</i>	31
2-1-Test sans choix en boîte de Pétri.....	31
2-2-Analyse des pontes sur les feuilles et les filets	31
2-3-Test de choix de site d'oviposition en boîte de Pétri	32
2-3-1-Cas 1 : Choix entre deux filets, une feuille de chou et le fond de la boîte	32
2-3-2-Cas 2 : Choix entre des portions de feuille de chou couvertes ou non de différents filets.....	32
2-5-Test d'oviposition de choix sur des plants protégés par un filet anti-insecte	34
3-Essai en plein champ.....	36
3-1-Suivi des populations de ravageurs et de pathogènes	36
3-1-1-Les lépidoptères : <i>Plutella xylostella</i> et <i>Pieris</i> spp	36
3-1-2-Les pucerons.....	37
3-1-3-L'oïdium.....	37
3-2- Effet des filets sur la pommaison et le rendement.....	38
3-3-Effets des filets sur le microclimat de la culture.....	38
Discussion des résultats.....	41
1-Evaluation de l'effet barrière des filets au champ.....	41
2- Evaluation de l'effet barrière des filets au laboratoire	42
3- Comportement d'oviposition de <i>Plutella xylostella</i>	43
3-1-Effet inhibiteur des filets sur les pontes.....	43
3-2-Analyse des pontes sur les filets	44
3-3-Arbre de décision.....	45
Conclusion.....	46
Bibliographie.....	47
Annexes.....	52

Liste des tableaux

Tableau 1 : Maillage maximum nécessaire pour exclure les principaux insectes ravageurs des serres

Tableau 2 : Références pour les filets anti-insectes

Tableau 3 : Caractéristiques des filets anti-insectes utilisés dans les expériences

Tableau 4 : Variables observées par champs d'étude dans l'essai au champ

Tableau 5 : Echelle de notation appliquée pour l'évaluation du niveau d'infestation par l'oïdium

Tableau 6 : Pontes de *Plutella xylostella* L. sur des feuilles et des filets placés en boîte de Pétri

Tableau 7 : Pontes de 4 couples de *P. xylostella* L. sur 2 types de filets protégeant des plants avec ou sans contact foliaire

Tableau 8 : Comparaisons bilatérale des pontes sur des filets monofilament et multifilament et sur les feuilles qu'ils protègent (avec et sans contact entre les deux supports)

Liste des figures

Figure 1 : Cycle et stade de développement de *P. xylostella*

Figure 2 : Dégâts de *P. xylostella*

Figure 3 : Photos des différents filets anti-insectes utilisés dans l'étude

Figure 4 : Dispositif du test d'efficacité des filets au laboratoire

Figure 5 : Test d'oviposition de *P. xylostella* sans choix en boîte de Pétri

Figure 6 : Schéma du système utilisé pour le test de choix de site ponte en boîte de Pétri

Figure 7 : Test de choix entre différents supports d'oviposition en boîte de Pétri

Figure 8 : Test de choix entre différents filets comme site d'oviposition en boîte de Pétri

Figure 9 : Schéma du test sans choix en présence d'un plant protégé

Figure 10 : Test sans choix sur plant protégé

Figure 11 : Test de choix en présence de plants protégés

Figure 12 : Vue de l'essai au champ

Figure 12-a : Parcelle élémentaire avec l'indication des principaux plants observés

Figure 12-b : Expérimentation au champ

Figure 13 : Schéma du dispositif de l'essai au champ

Figure 14 : Taux de passage des adultes de *P. xylostella* à travers 5 filets d'ouvertures de mailles différentes comparés à un témoin sans filet.

Figure 15 : Evolution du taux de passage des adultes de *P. xylostella* en fonction de la surface des mailles des filets

Figure 16 : Taux de passage des adultes de *C. plutellae* à travers le filet TIP 1700 (1,49 mm² d'ouverture de mailles) comparé à un témoin sans filet.

Figure 17 : Nombre moyen d'œufs pondus par une femelle de *P. xylostella* mise dans une boîte de Pétri avec différents supports (feuilles, filet Mousti IIC, filet IIC mono) comparé aux témoins (boîte vide et boîte + feuille)

Figure 18 : Nombre moyen d'œufs pondus par une femelle de *P. xylostella* sur différents supports (feuilles, filet Mousti IIC, filet IIC mono) comparé au témoin (fond de la boîte) dans une boîte de Pétri

Figure 19 : Nombre moyen d'œufs pondus par une femelle sur les feuilles sous filet et sur les filets couvrant les feuilles.

Figure 20 : Nombre moyen d'œuf pondus par femelle de *P. xylostella* L sur des portions de feuilles couvertes ou non par des filets et sur les différents filets (IIC mono, TIP 1700 et Mousti IIC) couvrant les feuilles.

Figure 21 : Pontes sur des filets et sur des feuilles de quatre femelles de *P. xylostella* face à des plants protégés par des filets monofilaments et multifilaments en contact ou sans contact avec les feuilles, en situation sans choix.

Figure 22 : Comparaison des pontes totales moyennes de 4 femelles de *P. xylostella* sur les filets et les feuilles des plants protégés ou non, avec ou sans contact foliaire.

Figure 23 : Nombre d'œufs pondus par 4 femelles de *P. xylostella* sur des filets et des feuilles de plants protégés (avec ou sans contact foliaire) et un plant non protégé.

Figure 24 : Comparaison des cumuls larvaires de *P. xylostella* observés sur les traitements avec filets (IIC mono et Filbio 317) et le témoin (non protégé).

Figure 25 : Comparaison des cumuls larvaires de *Pieris* spp observés sur les traitements avec filets (IIC mono et Filbio 317) et le témoin (non protégé).

Figure 26 : Evolution des populations aptères de *B. brassicae* observées du 16 juin au 7 juillet sur les traitements avec filets (IIC mono et Filbio 317) et le témoin (non protégé)

Figure 27 : Evolution hebdomadaire des taux de parasitisme des populations de pucerons (*Brevicoryne brassicae* et *Myzus persicae*) sur les traitements avec filets (IIC mono et Filbio 317) et le témoin (non protégé)

Figure 28 : Evaluation du niveau d'infestation moyen des choux par l'oïdium sur les traitements avec filets (IIC mono et Filbio 317) et le témoin (non protégé)

Figure 29 : Comparaison des pourcentages de plants pommés sur les parcelles protégées par des filets (Filbio 317 et IIC mono) et sur le témoin à la récolte,

Figure 30 : Comparaison des rendements (en kg/m²) obtenus sur les parcelles protégées par des filets (Filbio 317 et IIC mono) et sur le témoin.

Figure 31 : Evolution des humidités relatives minimales et maximales des parcelles témoins et sous filet à larges mailles (Filet IIC mono) durant la première période de plantation (Avril à Mai)

Figure 32 : Evolution des humidités relatives minimales et maximales des parcelles témoins et sous filet (IIC mono et Filbio 317) durant la seconde de période de plantation (Juin à Juillet)

Figure 33 : Evolution des températures minimales et maximales des parcelles témoins et sous filet à larges mailles (IIC mono) durant la première période de plantation (Avril à Mai)

Figure 34 : Evolution des températures minimales et maximales des parcelles témoins et sous filet à larges mailles (IIC mono) durant la première période de plantation (Avril à Mai)

Figure 35 : Evolution des températures minimales et maximales des parcelles témoins et sous filet (IIC mono et Filbio 317) durant la seconde de période de plantation (Juin à Juillet)

Figure 36 : Pontes de *P. xylostella* sur un filet monofilament en polyéthylène

Figure 37 : Pontes *P. xylostella* sur un filet multifilament en polyéthylène

Figure 38 : Position des œufs de *P. xylostella* sur un filet multifilament

Figure 39 : Pontes le long des nervures d'une feuille de chou

Figure 40 : Arbre de décision récapitulant le comportement d'oviposition de *P. xylostella* face à des plants protégés ou non par des filets anti-insectes en polyéthylène (monofilament et multifilament)

Introduction

Le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) est un centre de recherche Français qui répond, avec les pays du Sud, aux enjeux internationaux de l'agriculture et du développement. Au nombre de ses six principaux axes de recherches on compte « l'intensification écologique ». Ce concept englobe la conception de systèmes de production durables, plus économes en intrants et moins nocifs pour l'environnement. Dans le cadre de cette approche, l'Unité Propre de Recherche (UPR) HORTSYS (Fonctionnement agroécologique et performances des systèmes de culture horticoles), nous a accueillis, afin de contribuer à un projet de recherche sur l'étude d'un système de culture de plein champ, à base de filet de protection. En effet l'utilisation avec succès de filets anti-insectes, pour protéger les cultures de plein champ, permettrait d'envisager une réduction significative des épandages de pesticides.

L'utilisation de filet anti-insecte comme base pour la protection des cultures de plein champ soulève cependant quelques préoccupations d'ordres agronomiques et biologiques. Dans notre étude, les Brassicaceae cultivées et leur principal ravageur en zone tropicale *Plutella xylostella* L., servent de modèle, pour évaluer l'efficacité de filet en culture de plein champ. Dans le but de concevoir un système de culture durable, basé sur les filets, il est nécessaire de mieux comprendre les interactions entre cette barrière physique et la cohorte d'insectes (ravageurs et auxiliaires), présente sur cette culture. Concernant *P. xylostella* en particulier, il est nécessaire de connaître le comportement de vol et de ponte des adultes vis-à-vis des filets, mais également d'évaluer l'effet des matériaux, du type et de la taille des mailles des filets sur l'efficacité de ce système de protection. La connaissance de ces informations ainsi que des implications agronomiques de l'usage des filets pour protéger les choux, permettra de fixer des bases solides, à un système de production écologiquement intensif.

Notre travail s'est déroulé durant 6 mois au sein de l'équipe de l'UPR HORTSYS, accueillie au Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO European Laboratory - Centre de recherche Australien basé à Montpellier-). Au cours de cette période, nous avons été encadré des chercheurs des deux équipes de l'unité HORTSYS : Agroécologie, Interactions et Régulations Biologiques dans les systèmes horticoles (AIRB) et Evaluation et Conception de Systèmes horticoles (ECOS). Après un rappel sur les travaux antérieurs et les principes associés à cette thématique, le présent document présente nos travaux relatifs à l'optimisation des mailles de filets et au comportement d'oviposition de *P. xylostella* L. face aux filets. Enfin, l'effet des filets sur les autres ravageurs (Lépidoptères et Pucerons) du chou vert rencontré dans le Sud de la France est analysé, de même que l'impact de ce système sur le microclimat de la culture protégée et sur les maladies fongiques.

Revue de littérature

1-Présentation du ravageur : *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera-Plutellidae)

1-1-Généralités (Origine, identification et géographie)

P. xylostella est un insecte cosmopolite inféodé aux crucifères (Talekar et Shelton, 1993), dont une souche a été signalée sur le Pois (*Pisum sativum* L.) par Roßbach *et al.* (2005). Il serait originaire du bassin méditerranéen (Talekar et Shelton, 1993; Cordero, 2005) ou d'Afrique australe (Cordero, 2005). C'est un petit papillon de forme allongée (5 à 6 mm de long, 2 mm de large) avec des antennes prononcées et une envergure ailée variant entre 12 et 13 mm. Sa couleur d'ensemble varie du gris au marron. Il porte le long de son dos une large bande de couleur crème ou marron clair, qui se restreint lorsque le papillon est au repos pour former un ou plusieurs dessin en forme de diamants de couleur plus claire (figure 1), surtout chez le mâle (Talekar et Lin, 1998; Sandur, 2004; Cordero, 2005; Cordero et Kuhar, 2009) d'où lui vient son nom anglais, Diamondback moth.

1-2-Biologie et écologie

Les adultes sont nocturnes, actifs dès le crépuscule et se nourrissent de rosée. Leurs vols sont saccadés et courts, toutefois, ils sont capables de migrations longues à haute altitude (Talekar et Shelton, 1993; Chapman *et al.*, 2002; Goodwin et Danthanarayana, 1984; Wood *et al.*, 2008). Les femelles pondent juste après l'accouplement. L'oviposition est stimulée par la présence des glucosinolates dans les crucifères (Talekar et Shelton, 1993) et dure en moyenne 4 jours, pendant lesquels entre 18 et 356 œufs sont pondus, avec une moyenne de 159 œufs par femelle (Harcourt, 1957). Les œufs sont déposés essentiellement le long des nervures des feuilles et très peu sur les tiges et les pétioles (Talekar et Shelton, 1993); ils sont actifs entre -5° et 40° C (Talekar et Shelton, 1993; Gu, 2009).

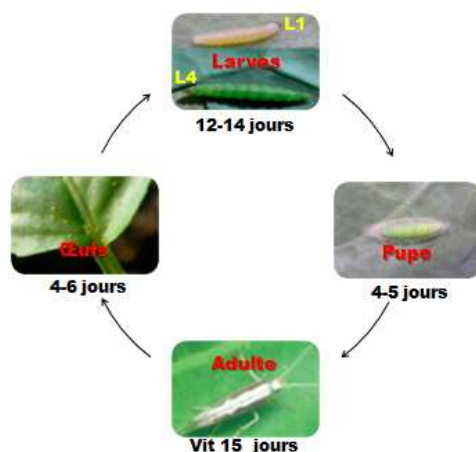


Figure 1 : Cycle et stades de développement de *P. xylostella* (Talekar et Lin, 1998; Cordero et Kuhar, 2009)

Le cycle de développement est accéléré par les températures élevées. Cela explique la prolifération de ce ravageur dans les zones tropicales où la température reste élevée toute l'année (Talekar et Lin, 1998). Ses traits d'histoire de vie (survie, fécondité, vitesse de développement..) peuvent être affectés par la plante hôte (Talekar et Shelton, 1993; Badenes-Perez *et al.*, 2009; Saeed *et al.*, 2010; Talebi et Fathipour, 2009). Son cycle de développement comporte 4 étapes (figure 1).

Les œufs (L=0,4 mm, l=0,2 mm) sont ovales, jaune brun ou vert pâle. Il y a 4 stades larvaires (L1 (2 jours), L2 (3 à 4 jours), L3 (3 à 4 jours), L4 (4 à 5 jours)). La pupe mesure 1 cm de long et 0,4 cm de large. Initialement verte, elle vire progressivement sur le marron. (Talekar et Shelton, 1993; Cordero et Kuhar, 2009; Talekar et Lin, 1998).

1-3-Dégâts et stratégies de lutte



Figure 2 : Dégâts de *P. xylostella*
(Photo T. Martin (2005))

Les dégâts sont provoqués par les 4 stades larvaires. La chenille nouvellement sortie de son œuf (L1) commence à s'alimenter en minant dans les tissus de la feuille, la vidant de son contenu, et lui donnant un aspect de fenêtre (figure 2). Les chenilles plus âgées sont des ravageurs externes, qui consomment le limbe entièrement (Talekar et Lin, 1998).

Deux principales stratégies (la lutte chimique intensive et la lutte intégrée) sont adoptées suivant le type d'exploitation.

1°) Les petites exploitations des pays en développement pratiquent essentiellement la lutte chimique (Talekar et Shelton, 1993). Cette stratégie s'avère peu efficace en raison de la sélection rapide de populations résistantes aux différents insecticides mais contribue par contre à réduire les populations d'ennemis naturels (Kao et Tzeng, 1990; Talekar et Shelton, 1993; Ooi, 1990; Hill et Foster, 2000) rendant peu efficaces les différents programmes de lutte biologique mis en place, dans ses régions (Ooi, 1990; Nyambo et Löhr, 2005).

2°) Dans les grandes exploitations des pays développés la lutte est aujourd'hui basée sur la lutte intégrée (Talekar et Shelton, 1993; Alonso, 2005) reposant principalement sur la combinaison de trois composantes : a) le suivi des parcelles pour évaluer le niveau de dégâts et évaluer le seuil d'infestation, b) l'application de pesticides à base de toxine de *Bacillus thuringiensis* quand c'est nécessaire et c) le recours à la lutte biologique par des lâchers périodiques de parasitoïdes (Mitchell *et al.*, 1997; Cameron *et al.*, 2000).

2-Généralités sur l'utilisation des filets anti-insectes

Le filet anti-insecte constitue une barrière physique entre les ravageurs et les plantes cultivées (Weintraub et Berlinger, 2004). Développée au siècle dernier, c'est probablement la méthode de lutte physique la plus efficace contre les arthropodes (Weintraub, 2009). Le filet anti-insecte en agriculture a été initialement conçu pour lutter contre la mouche blanche *Bemisia tabaci* Gennadius, devenue le facteur limitant de la production de tomate en Israël vers la fin des années

1970 (Weintraub et Berlinger, 2004). Utilisés dans les serres pour empêcher l'accès aux insectes, notamment par les ouvrants et les faces latérales (Ajwang *et al.*, 2002), il remplace dans le cas des abris filet, les plastiques et verres utilisés dans les serres. Les abris-filet sont des systèmes de culture horticole protégées à base de filet anti-insectes. Ils sont de plus en plus populaires chez les producteurs car ils sont moins coûteux que les serres, permettent de réduire l'usage des pesticides et ont un moindre impact sur le microclimat des cultures (Weintraub, 2009; Möller *et al.*, 2003; Polston et Lapidot, 2007). Selon Ajwang *et al.* (2002), les agriculteurs souhaitant recourir à l'utilisation des filets anti-insectes dans ces systèmes de culture sont cependant confrontés à des questions d'ordre pratique, dont les plus importantes sont :

-Quelle maille retenir en fonction des insectes cibles ?

-Quel est l'impact de cette barrière sur le microclimat (aération, humidité relative, température, ombrage...) ?

2-1-Quelle efficacité des mailles des filets anti-insectes ?

L'utilisation des filets anti-insectes a fait preuve d'une très grande efficacité, pour réduire les infestations. Toutefois, les filets doivent être mis en place avant l'arrivée des insectes puisqu'ils ne contrôlent pas ceux déjà présents sur la culture à protéger (Berlinger *et al.*, 1999; Weintraub et Berlinger, 2004). A partir des années 90, des travaux ont été effectués sur leur efficacité suite aux explosions de populations de *B. tabaci* dans le bassin méditerranéen et en Israël notamment, (Teitel *et al.*, 1999; Taylor *et al.*, 2001; Berlinger *et al.*, 2002; Ajwang *et al.*, 2002; Weintraub, 2009; Polston et Lapidot, 2007). Bethke et Paine (1991; 1994) ont ainsi défini les dimensions optimales des mailles pour exclure les Hémiptères tels que les Aleurodes (dont *B. tabaci*), les Aphides (dont *Aphis gossypii* Glover et *Myzus persicae* Sulzer), les Diptères (dont *Liriomyza trifolii* Burgess, notamment) et les Thysanoptères (dont *Frankiniella occidentalis* Pergande). Le tableau 1 présente leurs résultats tandis que le tableau 2 indique les recommandations du Centre Technique Interprofessionnel des fruits et Légumes (CTIFL) (Gerst, 1993) pour les principaux ravageurs en France. Le maillage des filets anti-insectes peut se mesurer en mesh (nombre de trous par pouce) mais aussi en μm ou en mm (Ajwang *et al.*, 2002).

Tableau 1 : Maillages maximum nécessaires pour exclure les principaux insectes ravageurs des serres		
Insectes ravageurs	Maillage (Taille des trous)	
	Microns	Mesh
Diptères	640	40
Aleurodes	462	52
Aphides	340	78
Thrips	192	132

Tableau 2 : Références pour les filets anti-insectes (CTIFL)

Dimension des mailles	Insectes concernés
1 - 1.5 mm Soit 0.04" - 0.06"	Mouche de l'oignon ; Mouche du chou ; Mouche des semis ; Teigne ; Noctuelle ; Piéride
0.5 à 1 mm Soit 0.02" à 0.04"	Aleurode ; Altise ; Pucerons, mouche de la carotte
0.3 à 0.6 mm Soit 0.01" à 0.025"	Thrips

Dans le cas des pucerons et des thrips, le chiffre inférieur correspond à une mesure de laboratoire, le chiffre supérieur aux références pratiques.

Sources : (Bethke <i>et al.</i> , 1994)

Source : (Gerst, 1993)

Dans la pratique, les filets de 50 mesh sont les plus utilisés en Israël et ont fait preuve d'une relative efficacité technique et économique contre *B. tabaci* (Teitel *et al.*, 1999; Polston et Lapidot, 2007; Taylor *et al.*, 2001; Berlinger *et al.*, 2002; Möller *et al.*, 2003; Holt *et al.*, 2008) mais également contre les insectes plus corpulents tels que les Aphides, les Thrips, les Coléoptères et les Cicadelles (Weintraub et Berlinger, 2004) confirmant les résultats préalables obtenus par Bethke et Paine (1991). Ces résultats couplés aux indications de Gerst (1993), indiquent que les filets de 50 mesh sont des barrières potentiellement efficaces contre les lépidoptères.

2-2-Utilisation des filets anti-insectes contre les lépidoptères

En France, des filets sont utilisés depuis 2005 dans le cadre du projet Alt Carpo pour limiter l'introduction dans les vergers du carpocapse du pommier (*Cydia pomonella*, Lepidoptera, Tortricidae). Les expérimentations menées en 2006 ont montré que l'utilisation des filets était plus efficace que la confusion sexuelle et la confusion sexuelle couplée à un Granulovirus, tandis que le témoin avait subi 45% de dégâts. Les essais pratiqués par la suite ont permis d'améliorer l'efficacité de la protection en réduisant les mailles des filets utilisés, passant ainsi du type anti-grêle (3 mm x 7,4 mm) aux mailles de 2,2 mm x 5,4 mm. En laboratoire, en situation forcée, 47% des papillons traverse les mailles anti-grêle, alors qu'en plein champ, cette maille protège avec une relative efficacité les parcelles (5,6% de dégâts) (Alt Carpo, 2010). Ce qui implique que la situation forcée ne reflète pas complètement les réalités du terrain.

Dans le cas de *P. xylostella*, sur chou, Talekar et al (2003) déconseille l'utilisation des filets de 16 mesh (1,6 mm). Ces mailles laissent passer les ravageurs y compris *P. xylostella* et bloquent leurs auxiliaires naturels (prédateurs). Pour Talekar et al (2003), l'idéal pour lutter contre *P. xylostella* est un filet de 32 mesh (trou de 0,8 mm de côté) en nylon, uniformément tissé, qui exclut efficacement cet insecte de même que *Phyllotreta striolata* Fabricius (*Coleoptera Chrysomelidae*), tout en ayant un effet moindre sur le microclimat. Les mailles plus petites (40 et 50 mesh) présentent le désavantage de réduire fortement le flux d'air dans les zones tropicales et subtropicales, ce qui entraîne une augmentation de l'humidité et de la température (Talekar *et al.*, 2003). Ils notent que les Pucerons et les Thrips qui traversent les barrières de 32 mesh ont un impact négligeable sur la culture.

Les résultats de Martin *et al* (2006) et Licciardi *et al* (2007) obtenus avec des filets en polyester tissés (respectivement 25 et 40 trous par cm², soit 4 mm² et 2,5 mm² de maille), montrent également l'efficacité des filets contre les lépidoptères (*P. xylostella* et *Hellula undalis* Fabricius - Pyralidae). Ces derniers suggèrent la possibilité d'utiliser ces filets seulement durant la nuit, contre

P. xylostella qui est un ravageur nocturne, pour éviter les effets négatifs sur le microclimat de la culture mais aussi, pour permettre aux auxiliaires naturels d'accéder à la parcelle durant la journée. Talekar et al (2003) et Licciardi *et al* (2007) s'accordent sur l'inefficacité des filets contre *Spodoptera spp* qui pondent leurs œufs sur les filets, desquels les larves ayant éclos descendent sur la culture à l'aide de fils de soie. Ce comportement d'oviposition face au filet anti-insecte n'est cependant pas mentionné par ces auteurs dans le cas de *P. xylostella*. En laboratoire, on peut faire pondre cet insecte sur d'autres supports et notamment des feuilles d'aluminium trempées dans du jus de Brassicaceae (Carpenter et Bloem, 2002; Dunhawoor et Abeeluck, 2003). Son comportement d'oviposition est dépendant des stimuli (la présence et l'émission de volatiles) de sa plante hôte (Reddy et Guerrero, 2000; Åsman et Ekbom, 2006) et est affecté par la privation de celle-ci (Åsman et Ekbom, 2006). Il est donc nécessaire d'évaluer l'impact sur le comportement de ce ravageur de la présence de la barrière physique. Cela permettrait d'améliorer l'efficacité de ladite barrière, en tenant compte des capacités d'adaptation de l'insecte.

2-3-Les filets anti-insectes et la protection intégrée

La protection intégrée, en anglais Integrated Pest Management (IPM) est: “ *a decision-based process involving coordinated use of multiple tactics for optimizing the control of all classes of pests (insects, pathogens, weeds, vertebrates) in an ecologically and economically sound manner.* ” (Prokopy, 2003). Cette définition, selon Ehler (2006) implique pour les pratiquants de cette approche:

- ❶•Une gestion simultanée de multiples ravageurs ;
- ❷•Un suivi régulier des ravageurs, de leurs ennemis naturels et antagonistes ;
- ❸•L'utilisation de seuil économique d'intervention, lorsque les pesticides sont appliqués ;
- ❹•L'intégration de multiples tactiques de suppression. Le terme “intégration” signifiant l'incorporation de seuils d'ennemis naturels/antagonistes dans le processus de décision et l'utilisation de tactiques compatibles et non perturbatrices, qui préservent ces agents (Ehler, 2006).

L'utilisation des filets de protection s'inscrit dans cette approche, car elle permet d'exclure les ravageurs, ce qui participe à la réduction du seuil d'infestation et limite ainsi l'usage des pesticides (Weintraub, 2009; Möller *et al.*, 2003; Polston et Lapidot, 2007). Toutefois, comme l'indiquent Berlinger *et al* (1999), les filets anti-insectes ne suppriment pas et n'éradiquent pas les ravageurs mais excluent simplement la majorité d'entre eux. Ils proposent en conséquence de compléter l'effet de cette barrière en ayant recours à la lutte biologique (lâcher de parasitoïdes ou de prédateurs).

Le choix du filet est fonction des ravageurs que l'on veut exclure (Bethke et Paine, 1991; Bethke *et al.*, 1994; Ajwang *et al.*, 2002). Les résultats obtenus par les différents auteurs (Martin *et al.*, 2006;

Bethke et Paine, 1991; Bethke *et al.*, 1994; Teitel *et al.*, 1999; Taylor *et al.*, 2001; Berlinger *et al.*, 2002; Talekar *et al.*, 2003; Licciardi *et al.*, 2007) confirment les indications de Berlinger *et al.* (1999) et montrent également que les filets ne permettent pas une protection totale contre tous les insectes. En revanche, l'idée d'une approche intégrée incluant ce moyen de lutte physique est suggérée par Bethke *et al.* (1994), Ajwang *et al.* (2002), Martin *et al.* (2006) et Talekar *et al.* (2003) notamment, qui proposent l'adjonction d'une lutte chimique ou biologique.

En ce qui concerne la relation entre les auxiliaires et les barrières physiques, Berlinger *et al.* (1999) indiquent que les filets réduisent les populations de ravageurs immigrants, mais également celles des insectes utiles. Toutefois, ils signalent que les parasitoïdes, à la différence des prédateurs, sont plus petits que leurs hôtes et traversent les mailles quand elles ne sont pas trop petites. Cette assertion est confirmée par les expériences préliminaires de Bethke *et al.* (1994) qui ont montré qu'une barrière en polyéthylène à maille de 0.12 mm² (soit plus de 60 mesh) laissait passer un effectif significatif du parasitoïde *Encasia formosa* Gahan (Hymenoptera- Aphelinidae) tout en limitant l'accès aux aleurodes. En revanche Talekar *et al.* (2003) indiquent l'inefficacité des filets de 16 mesh (1,6 mm de trou) qui laissent passer les ravageurs y compris *P. xylostella* mais bloquent leurs ennemis naturels. Il ne précise pas toutefois si seuls les prédateurs sont exclus, ou si cette mesure concerne également les parasitoïdes tel que *Cotesia plutellae* Kurdjumov (Hymenoptera : Braconidae), parasitoïde spécifique de *P. xylostella*, qui ont une taille moins importante : 2,62 mm de long pour 0,73 mm de large pour les femelles du micro-hyménoptère (Talekar et Lin, 1998) contre 5 à 6 mm de long et 2 mm de large pour *P. xylostella* (Talekar et Lin, 1998; Cordero, 2005; Sandur, 2004). Cette différence de taille couplée aux résultats de Bethke *et al.* (1994) sur *Encasia formosa* laisse supposer la possibilité pour les parasitoïdes de *P. xylostella* de traverser les filets. Enfin Martin *et al.* (2006) et Licciardi *et al.* (2007) ont montré que des filets de protection installés temporairement, durant les nuits, avaient de meilleurs résultats que des barrières fixes et ont avancé l'idée que cela pourrait être dû à l'action des auxiliaires naturels.

Il est donc souhaitable d'étudier le comportement de ces auxiliaires de *P. xylostella* vis-à-vis des filets anti-insectes, mais également d'évaluer la possibilité de lâchers d'auxiliaires dans les systèmes de culture de plein champ à base de filets.

Au niveau des pesticides, Talekar *et al.* (2003) conseillent d'effectuer des traitements à base de *B. thuringiensis* contre le Lépidoptère *Spodoptera littoralis*, qui pond sur les filets, tandis, que Martin *et al.* (2006) indiquent que l'imprégnation des filets avec un insecticide chimique (deltaméthrine-pyréthrinoïde de synthèse) pourraient permettre d'améliorer la protection des plantes. L'imprégnation des filets moustiquaire avec des insecticides est une pratique qui remonte à la seconde guerre mondiale en entomologie médicale et qui a fait preuve d'efficacité (Lengeler, 2004). Le transfert de cette approche en agronomie a été tenté avec des résultats significativement

positifs par Martin *et al.* (2006) puis Licciardi *et al.* (2007), sur les Pucerons traversant les filets de protection utilisés contre les lépidoptères sur chou pommé (*Brassica oleracea*).

Toutefois, la grande capacité d'adaptation aux pesticides de *P. xylostella* (A.R.Syed, 1990; Talekar et Shelton, 1993; Eigenbrode et Shelton, 1990; Hama, 1992; Miyata *et al.*, 1990; Sayyed *et al.*, 2004; Zhao *et al.*, 2002; Tabashnik *et al.*, 1990; Tabashnik *et al.*, 2003; Bruce E. Tabashnik *et al.*, 1994), limite les matières actives pouvant être adjointes au filet et exclut les pyréthrinoides de synthèse et les organophosphorés, notamment. En revanche, le pyriproxylene (4-phenoxyphenyl (RS)-2-(2-pyridyloxy) propylether), une hormone juvénile analogue photostable, semble pouvoir renforcer la barrière physique, grâce à ses effets sur la fécondité de *P. xylostella* (réduction de 90%), le développement embryonnaire et la métamorphose (réduction de 50% des adultes à la dose de 4 ppm) (Oouchi, 2005). En outre, cette matière active accroît l'efficacité pathogénique du *B. thuringiensis* var *kurstaki* (Kwon et Kim, 2007) contre ce ravageur. Il serait donc opportun d'évaluer l'efficacité de ce couple, dans le cadre d'une lutte intégrée contre la teigne des crucifères, tout en tenant compte de l'impact d'une telle approche sur les auxiliaires. Il faut relever enfin, que des cas de résistances à cette hormone juvénile ont été rapportés sur *B. tabaci* biotype B (Ma *et al.*, 2010), pour lequel, les enzymes cytochrome P450 monooxygénase (P450) et glutathione S-transférases (GST), également présentes chez les souches de *P. xylostella*, résistantes aux pyréthrinoides (Baek *et al.*, 2010; Sun *et al.*, 1992), sont impliquées dans ce processus de résistance (Ma *et al.*, 2010). Il est donc souhaitable pour limiter ce risque dans le cas de *P. xylostella* dont l'adaptabilité face aux pesticides chimiques et biopesticides est importante (Talekar et Shelton, 1993; Talekar et Lin, 1998; Sayyed *et al.*, 2004), d'optimiser la dose de pesticide à utiliser dans le cadre de cette approche.

2-4-Impact des filets anti-insectes sur le microclimat des cultures

Les abris de même gabarit que les serres canariennes (hauteur minimale de 2 m), sont les systèmes protégés à base de filets anti-insectes, les plus étudiés dans le cadre de la région méditerranéenne, notamment en Israël et en Espagne, où les filets utilisés sont généralement des 50 mesh (Teitel *et al.*, 1999; Taylor *et al.*, 2001; Berlinger *et al.*, 2002; Ajwang *et al.*, 2002; Weintraub, 2009; Polston et Lapidot, 2007).

Abordant la question du microclimat sous ce type de structure, Desmarais et Vigaya Raghavan (1997) font remarquer que la température, la ventilation et les transferts de chaleur y sont surtout influencés par l'architecture de l'abri, sa forme, le maillage et la couleur des filets. Ils notent également l'importance de l'augmentation de la température interne surtout lorsque la vitesse du vent est faible et l'humidité ambiante élevée.

En Israël, Möller *et al.* (2003) et Tanny *et al.* (2003) ont fait la remarque que les radiations transmises à travers un filet de 50 mesh, d'un abri de type « screenhouse » de 60 m x 110 m x 3,2 m, représentaient environ 52% des radiations externes, tandis que la température intérieure était

supérieure d'1 à 2,5°C par rapport à l'extérieur. En ce qui concerne la ventilation, pour des vitesses de vent externe comprises entre 1,5 and 3,5 m s⁻¹, l'abri réduisait le taux de ventilation de 51 à 71 % voire même à 95% au milieu de la structure, ce qui avait pour conséquence d'élever l'humidité relative interne (Tanny *et al.*, 2003; Möller *et al.*, 2003).

Möller *et al.* (2004) ont montré pour des structures identiques, que la transpiration d'une culture de piment était approximativement 1,8 à 2,1 mm/jour quand celle d'une même culture en plein champ étaient de 4,5 à 5,3 mm/jour en moyenne. Ils notent que cette baisse significative (de plus de la moitié) est liée à la baisse des radiations, de la vitesse du vent et du déficit de la pression vapeur.

Au niveau de l'impact de la hauteur de l'abri sur le microclimat, Raya *et al.* (2006) comparant des abris hauts (4,5 à 5 m) et des abris moyens (3,2 à 3,5 m) en Espagne, ont montré que les deux hauteurs n'avaient pas d'effets significatifs sur la température interne moyenne, alors que les températures minimales et maximales de la journée étaient plus extrêmes dans l'abri moyen. En outre, l'humidité relative dépassant largement les 90% ne variait pas significativement entre les deux structures, mais présentait des conditions de condensation plus persistante dans l'abri moyen. Cette même tendance était également observable dans le cas de la température moyenne. En Israël, Tanny *et al.* (2008) ont analysé ses mêmes paramètres dans le cas de deux abris haut (4 m) et moyen (2 m) et ont montré qu'il n'y avait pas de différence au niveau de la radiation nette, contrairement à la température de l'air, celles des feuilles et au déficit de la pression de vapeur qui étaient plus élevées dans l'abri moyen, avec des écarts moyens journaliers respectifs de 1,5 et 1,1 degrés pour la température de l'air et des feuilles. De même une comparaison du gradient vertical des températures a révélé une différence allant du simple au triple (les valeurs les plus élevées étant celles observées dans l'abri moyen), due à une meilleure circulation de l'air dans l'abri haut, avec une tendance de l'air chaud à migrer vers la toiture, plus marquée dans cette structure également. Enfin, l'humidité relative de l'abri haut était plus proche de celle de l'extérieur que celle de l'abri bas. La grande différence de hauteur (2 m) entre les abris dans l'expérience de Tanny *et al.* (2008) a permis d'obtenir de notables différences qui ne sont pas apparues dans les travaux menées par Raya *et al.* (2006). Il est donc envisageable d'obtenir des différences encore plus grandes au niveau du microclimat dans le cas d'abris bas de moins 50 cm de haut, comme c'est le cas dans les systèmes proposés par Talekar *et al* (2003), Martin *et al* (2006) et Licciardi *et al* (2007).

La question de la lumière sous les abris de ce type a été abordée par Montero *et al* (2001). Ces derniers font remarquer que pour les filets et écrans l'efficienne de la transmission de la lumière augmente selon un gradient croissant de la porosité de ladite structure, dont elle est fonction. Ils ont montré que les filets anti-insectes ont un rendement en transmission du rayonnement diffus de lumière, comparable à un film plastique à trois couches (PE-EVA-PE de 0.2 mm d'épaisseur) (environ 90%) et un meilleur rendement en rayonnement direct, que les films plastiques testés. En

conséquence, le raisonnement du choix du maillage du filet anti-insecte, devrait être un compromis entre le rendement en lumière transmise et l'efficacité de cette barrière pour l'exclusion des insectes.

3-Conclusion partielle

L'utilisation de filet anti-insecte dans le cadre d'une protection physique des crucifères vis-à-vis de *P. xylostella* et son insertion dans un programme de protection intégrée, implique :

- Au niveau biologique, une meilleure connaissance du comportement d'oviposition de cet insecte vis-à-vis des filets anti insecte, mais également des interactions entre ce système et les ennemis naturels et notamment les auxiliaires parasitoïdes tel que *C. Plutellae*
- Au niveau agronomique, le choix des matériaux permettant une meilleure transmission de la lumière et l'optimisation de l'aération.

Matériels & méthodes

1-Matériels d'étude au laboratoire et analyse statistiques

1-1-Les insectes et les plantes

L'élevage des insectes a été effectué dans des conditions contrôlées en Température de $25\pm 3^{\circ}\text{C}$ et Photopériode de 16 H de jour et 8 H de nuit. La souche de *P. xylostella* utilisée a été collectée au Sénégal en novembre 2008 et est élevée au Cirad sans interruption. Les larves sont alimentées successivement sur moutarde chinoise (*Brassica juncea* L.) pour les néonates et ensuite sur des choux-fleurs (*Brassica oleracea* L.) jusqu'à la pupaison. La souche du parasitoïde, *C. plutellae* est issue d'une population de Martinique collectée en avril 2009. Elle est élevée sur la souche de *P. xylostella*. Les plantes ont été produites sous serre à une température variant entre 18 et 26°C sans éclairage artificiel.

1.2-Les filets anti-insectes

Le tableau 3 dresse la liste et les caractéristiques des filets anti-insectes utilisés dans nos expériences.

Tableau 3 : Caractéristiques des filets anti-insectes utilisés dans les expériences

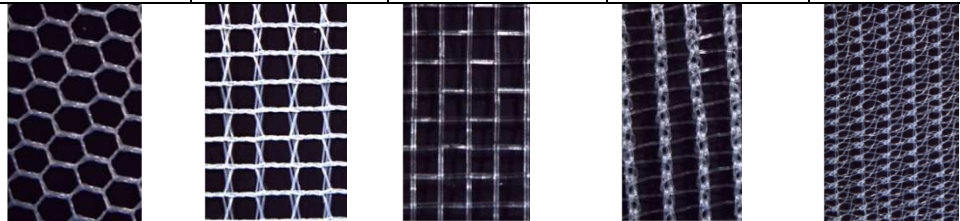
Filets	Moustiquaire 1	Moustiquaire 2	Moustiquaire 3	TIP 1700	Filbio 317
Fabricant	IIC	Vestergard Frandsen	IIC	TEXINOV	TEXINOV
Code	Mousti IIC	VF Polyester	IIC Mono	TIP 1700 / Multi	Filbio 317
Type	Multifilament	Multifilament	Monofilament	Multifilament	Multifilament
Matériaux	Polyester	Polyester	Polyéthylène	Polyéthylène	Polyéthylène
Mailles (largeur)	1,80 x 2,40 mm	1,33 x 1,6 mm	1,47 x 1,6 mm	0,93 x 1,6 mm	0,85 mm
Photos					

Figure 3 : Photos des différents filets anti-insectes utilisés dans l'étude

2-Evaluation au laboratoire de l'efficacité des filets comme barrière physique

Pour évaluer l'efficacité des filets comme barrière physique aux adultes de *P. xylostella*, des pupes issues d'une même ponte sont mises par lot de cinquante dans des piluliers. L'ouverture est fermée par les différents filets dont on veut évaluer l'efficacité. Chaque pilulier est mis dans une boîte noire sans couvercle, déposée au centre d'une cage plastique laissant passer la lumière. Le dispositif est fait de sorte, que les adultes sortant de leur pupes, soit attirés par la lumière et sortent de la boîte noire, sans pouvoir y retourner (figure 4).

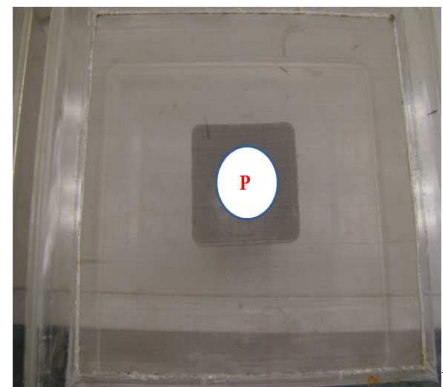


Figure 4 : Dispositif du test d'efficacité des filets au laboratoire.

P = pilulier

Le nombre d'adultes ayant traversé le filet et ceux restés dans le pilulier sont comptés. Les pupes n'ayant pas données d'adultes sont exclues. Un pilulier non fermé est utilisé en guise de témoin. La même expérience est conduite pour évaluer la capacité du parasitoïde *C. plutellae* à traverser des mailles de filets, bloquant *P. xylostella*. Pour ce faire, le même dispositif décrit ci-dessus pour *P. xylostella* a été utilisé. Une dizaine de cocon du parasitoïde ont été mis dans chacun des piluliers et un seul filet (ayant obtenu un bon taux de blocage des adulte de *P. xylostella* a été comparé à un témoin sans filet. Les deux expériences ont été répétées 4 fois. Les données relatives à *P. xylostella* ont été analysées à l'aide d'une analyse de variance à un facteur (filet) et du test de Fisher LSD pour les comparaisons bilatérales. Les données concernant le parasitoïde ont été analysées avec une régression logistique et le test du Khi 2.

3-Etude en laboratoire du comportement d'oviposition de *P. xylostella*

3-1-Evaluation des supports de ponte en boîte de Pétri

3-1-1-Test sans choix

Des triplets (2 mâles + 1 femelle) d'adulte de *P. xylostella* âgés de moins de 24 h et non accouplés sont mis dans des boîtes de Pétri (1 triplet par boîte), aménagées suivant 6 modalités : ❶ Boîte de Pétri vide servant de témoin ❷ Boîte de Pétri + feuille de chou servant de témoin ❸ Boîte de Pétri + filet en polyester Mousti IIC ❹ Boîte de Pétri + filet IIC mono ❺ Boîte de Pétri + feuille de chou + Mousti IIC ❻ Boîte de Pétri + feuille de chou + filet IIC mono

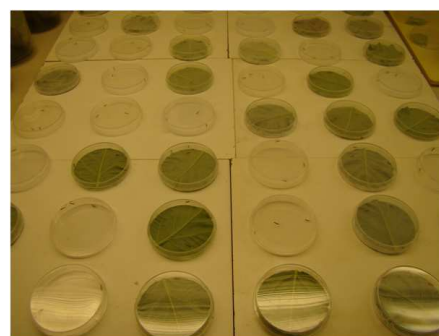
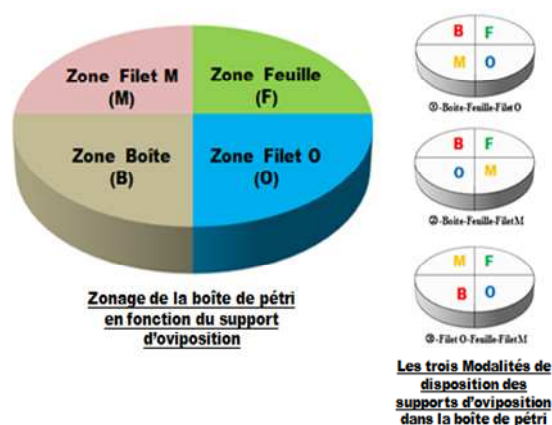


Figure 5 : Test d'oviposition de *P. xylostella* sans choix en boîte de Pétri

Le test est répété 12 fois (figure 5). Le nombre d'œufs pondus est compté sur les différents supports: paroi, fond, couvercle, feuille, filet D1, filet D2, feuille. Les données sont analysées à l'aide du test de comparaison multiple de Kruskal Wallis et du test bilatéral de Conover-Iman.

3-1-2-Tests de choix



Dans une boîte de Pétri divisée en 4 quartiers (figure 6), un couple d'adultes de *P. xylostella*, non accouplé, âgé de moins de 24 h est mis en situation de choix de support de ponte pendant 48 h. Les choix sont représentées par les 4 zones délimitées, qui comprennent la paroi, le fond et le couvercle mais marqués par la présence d'une des modalités suivantes (figure 7) : fond de boîte nu, feuille de chou, filet en polyéthylène (O) et filet en polyester (M).

Figure 6 : Schéma du système utilisé pour le test de choix de site ponte en boîte de Pétri

Ces 4 modalités sont arrangées suivant 3 dispositions, qui nous permettront d'analyser les interactions entre les supports et le système expérimental.

L'expérience est répétée dix fois et les pontes nulles ne sont pas prises en compte. Les pontes effectuées sur chacune des zones définies plus haut et sur les supports en particulier, sont analysées au moyen du test non paramétrique de comparaison pour K échantillons indépendants de Kruskal Wallis et du test de comparaison multiples par paire de Conover-Iman

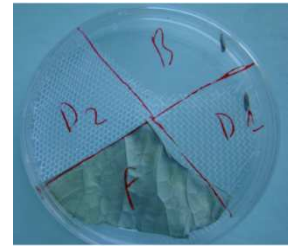


Figure 7 : Test de choix entre différents supports d'oviposition en boîte de Pétri



Figure 8 : Test de choix entre différents filets comme site d'oviposition en boîte de Pétri

Un second test de choix en boîte de Pétri est effectué pour analyser le choix de l'insecte face à une feuille dont certaines parties sont protégées par divers types de filet (figure 8). Cette fois, un morceau de feuille de chou est placé sur le fond de la boîte. Les 4 zones considérées sont alors la feuille de chou et les trois filets la protégeant (polyester, polyéthylène monofilament et polyéthylène multifilament). Ces 4 options sont arrangées suivant 3 dispositions comme ci-dessus. 10 répétitions sont réalisées et les résultats obtenus sont analysés suivant la même procédure.

3-2-Comportement de ponte face à un plant protégé par un filet

3-2-1-Test sans choix

Le comportement de ponte de 4 couples (4 femelles + 4 mâles) âgés de moins de 24 h est analysé en présence d'un jeune plant de moutarde, protégé par un filet. Deux facteurs sont considérés : Le type du filet (monofilament (D1) et multifilament (D5)) et la relation filet-feuille de chou (avec ou sans contact). Un plant non protégé est utilisé comme témoin. Les plants sont mis dans des boîtes cylindriques (diamètre = 11 cm et hauteur = 8 cm). Les filets sont fixés sur les boîtes cylindriques à l'aide d'un fil élastique et l'ensemble est recouvert par une cloche en plastique (22 cm de haut, 12 cm de diamètre à la base et 9,5 cm de diamètre au sommet). Les figures 9 et 10 présentent les différents éléments du dispositif.

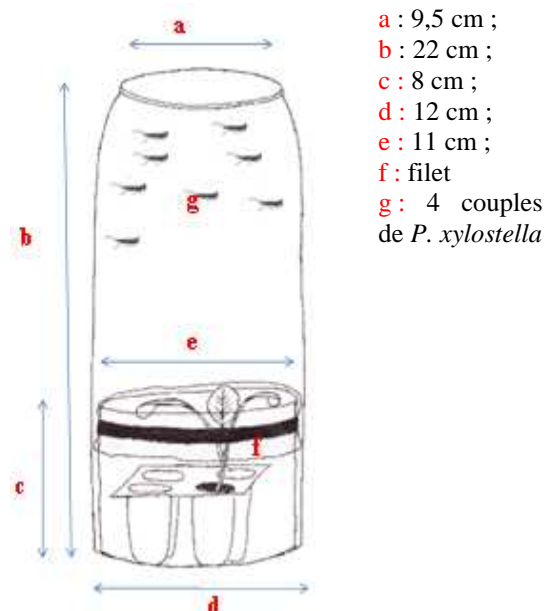


Figure 9 : Schéma du test sans choix en présence d'un plant protégé (Dessin Pauline Lambert)

Dans chacun des traitements (outre les plants témoins), les observations enregistrées sont les pontes sur les feuilles en contact avec le filet et les pontes sur les filets.

L'expérience est répétée 8 fois. Les données sont analysées à l'aide du test non paramétrique de Mann Whitney, du test non paramétrique de comparaison pour K échantillons indépendants de Kruskal Wallis et du test de comparaison multiples par paire de Conover-Iman.

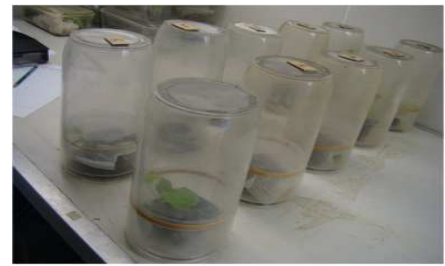


Figure 10 : Test sans choix sur plant protégé

3-2-2-Test de choix



Figure 11 : Test de choix en présence de plants protégés

L'expérience est réalisée en mettant dans la même enceinte (une cage plastique de 28 x 29 x 8,5 cm), les cinq traitements du test sans choix, décrit ci-dessus (figure 11). L'expérience est répétée 15 fois. Les données sont analysées à l'aide du test non paramétrique de Mann Whitney, du test non paramétrique de comparaison pour K échantillons indépendants de Kruskal Wallis et du test de comparaison multiples par paire de Conover-Iman.

4-Evaluation de l'efficacité du système de culture sous filet au champ

Notre parcelle est localisée au CSIRO à Baillarguet (43°41'06.6'' Nord et 3°52'29.8'' Est). Les choux verts utilisés sont de l'espèce *Brassica Oleracea* et de la variété « *Pointu de Chateaufrenard* », qui est cultivée dans la région. La pépinière est réalisée en serre, pendant 4 semaines à partir de graines. Les choux sont ensuite repiqués selon un espacement de 40 cm sur la ligne et entre les lignes. Chaque parcelle élémentaire comprend 21 plants (3 lignes de 7 choux) sur une superficie de 3,36 m². Seuls 10 plants répartis en quinconce sont observés. Une fumure de fond est apportée avant repiquage sous la forme d'engrais complet NPK. Un réseau de micro-irrigation est installé sous un paillage de sol tissé. Aucun traitement phytosanitaire n'est appliqué sur l'essai.

Les traitements comparés sont :

- T0 : Parcelles Témoin Non Traité : choux cultivés sans filet ;
- T1 : Parcelles recouvertes du filet IIC monofilament en polyéthylène;
- T2 : Parcelles recouvertes du filet TEXINOV multifilament Filbio 317 en polyéthylène.

Les filets sont tendus sur des arceaux en fer à béton afin de constituer des abris fermés de 2,8 m de long, 1,2 m de large et 0,3 m de haut).

Ces parcelles sont réparties sur 6 blocs, soit 6 répétitions pour chaque traitement (figure 12 et 13).

Les variables observées sont mentionnées dans le Tableau 4.

Les données obtenues sont analysées à l'aide d'analyse de variance et du test de Fisher LSD.

5-Analyse statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le Logiciel XLSTAT version 2010 d'Addinsoft. Les graphiques et figures ont été réalisées avec Microsoft EXCEL.

Tableau 4 : Variables observées par champ d'étude dans l'essai au champ

Champ d'étude	Agronomique	Entomologique	Phytopathologique
Observations	-Température et humidité relative à 15 cm et à 1,5 m du sol, enregistrées toutes les 30 minutes. - Pommaison et Rendement ;	-Dynamiques des populations d'insecte (lépidoptères et Pucerons)	Comparaison du niveau d'infestation par les maladies
Matériels & méthodes	-Micro enregistreur climatique (TESTO) pour la température et l'humidité relative) -Comptage hebdomadaire -Pesée	-Identification et comptage hebdomadaires des arthropodes présents	-Notation hebdomadaire à l'aide d'une échelle graduelle d'infestation à 6 niveaux (Tableau 5)

Tableau 5 : Echelle de notation appliquée pour l'évaluation du niveau d'infestation par l'oïdium

% d'infestation	0%	5%	25%	50%-	75%	Pomme du chou atteinte ou 100%
Notes	0	1	2	3	4	5

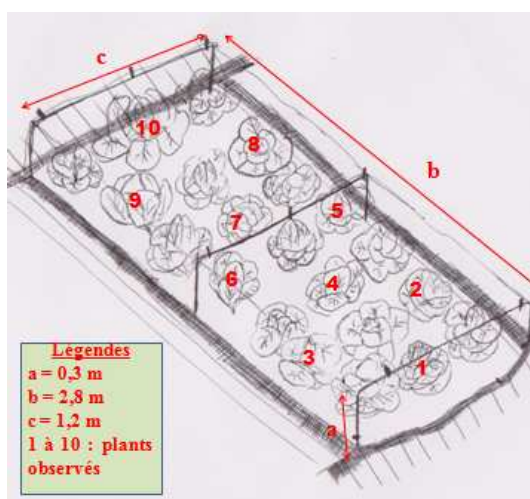


Figure 12-a : Parcelle élémentaire avec l'indication des principaux plants observés



Figure 12-b : Expérimentation au champ

Figure 12 : Vue de l'essai au champ

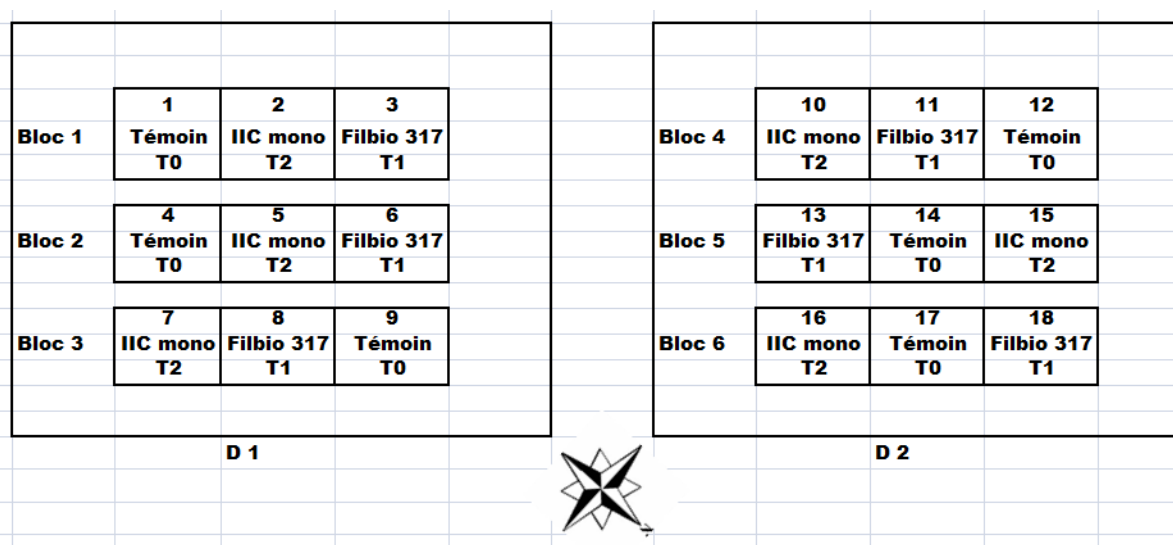


Figure 13 : Schéma du dispositif de l'essai au champ

Résultats

1- Evaluation au laboratoire de l'efficacité des filets comme barrière physique

1-1-Contre *P. Xylostella*

Les adultes de *P. xylostella* ne sont pas passés à travers le filet à plus petite maille (0,85 mm de large) (Figure 14). Les premiers passages ont été observés avec une ouverture (largeur) de 0,93 mm (10%). Ce taux s'est accru avec l'ouverture des mailles pour atteindre 85% de passage avec une maille de 1,80 mm. L'analyse statistique (ANOVA à 5% avec DDL = 5 ; $R^2 = 0,97$; P value < 0,0001) a montré des différences significatives du taux de passage entre chaque filet (Annexe 1) à l'exception des filets « VF Polyester » et « IIC mono » dont les tailles de maille sont très proches (1,47 et 1,33 mm). Dans le témoin, 8% des adultes sont restés au fond de la boîte. Enfin, la réalisation d'une droite de régression avec les résultats obtenus pour chacune des mailles testées, montre une corrélation positive (Figure 15) entre la taille des mailles et le taux de passage des adultes de *P. xylostella* à travers les filets.

1-2-Contre *C. plutellae*

Tous les adultes du parasitoïde *C. plutellae* ont pu passer les mailles du filet TIP 1700. Le test du Khi 2 à 5% n'a pas indiqué de différence significative entre le filet TIP 1700 et le témoin sans filet (Figure 16).

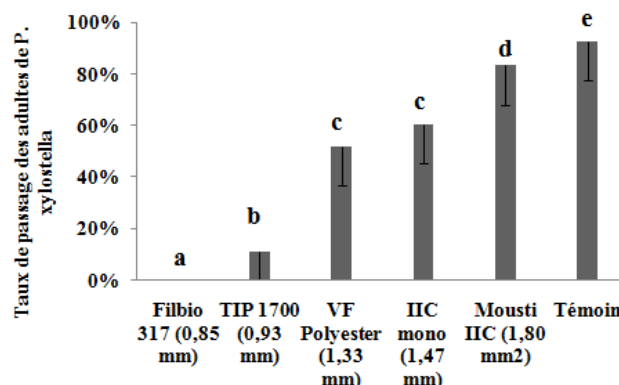


Figure 14 : Taux de passage des adultes de *P. xylostella* à travers 5 filets d'ouverture de mailles (largeur) différente comparés à un témoin sans filet. Des lettres minuscules différentes indiquent les moyennes significativement différentes (Test de Fisher LSD à 5% avec $P < 0,0003$)

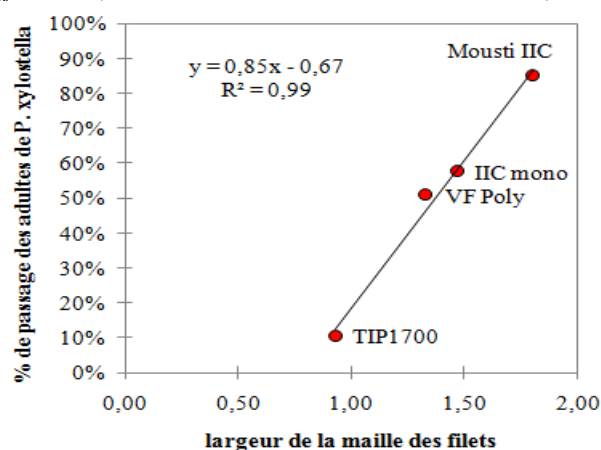


Figure 15 : Evolution du taux de passage des adultes de *P. xylostella* en fonction de la surface des trous de mailles des filets (Régression excluant le filet donnant 100% d'exclusion)

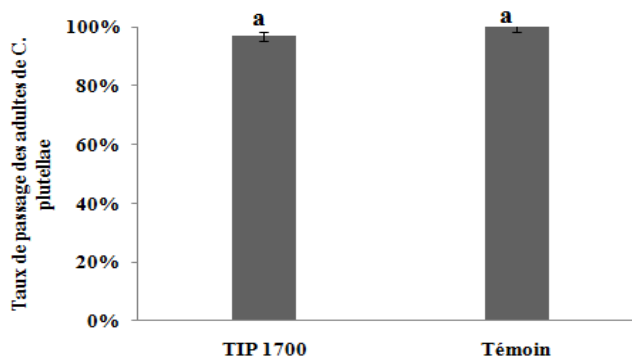


Figure 16 : Taux de passage des adultes de *C. plutellae* à travers le filet TIP 1700 (1,49 mm2 d'ouverture de mailles) comparé à un témoin sans filet. La lettre a indique que les moyennes ne sont pas significativement différentes (Test de Khi 2 à 5%)

2-Etude en laboratoire du comportement d’oviposition de *P. xylostella*

2-1-Test sans choix en boite de Pétri

Les femelles de *P. xylostella* ont pondu sur tous les supports (boite, filet et feuille) mais de préférence sur feuille. Les œufs pondus sur la boite ont été pondus sur le fond, la paroi ou le couvercle. Dans les 2 témoins sans filet (boite+feuille et boite vide), la présence d’une feuille de chou dans la boite a accru significativement le nombre d’œufs pondus (Conover-Iman P value < 0,0003). En présence de filet dans les boites, les œufs pondus sur les filets n’ont été observés qu’en présence d’une feuille de chou dans la boite. Le test de comparaison multiple de Kruskal Wallis ($\alpha=5\%$) a montré des différences significatives du nombre total d’œufs pondus entre les différents traitements (P-value = 0,011 ; K = 14,875 et DDL = 5). Il y a eu une grande variabilité dans le nombre d’œufs pondus d’une répétition à l’autre. Le test de comparaisons multiples par paires de Conover-Iman avec un niveau de signification corrigé de Bonferroni (0,0033) n’a montré des différences significatives qu’entre les traitements témoins « boite vide » et « boite + feuille » et entre les traitements « boite + filet mousti IIC » et « boite+ feuille » (Figure 17). Les différences entre les autres objets n’ont pas été significatives (Annexe 2-a).

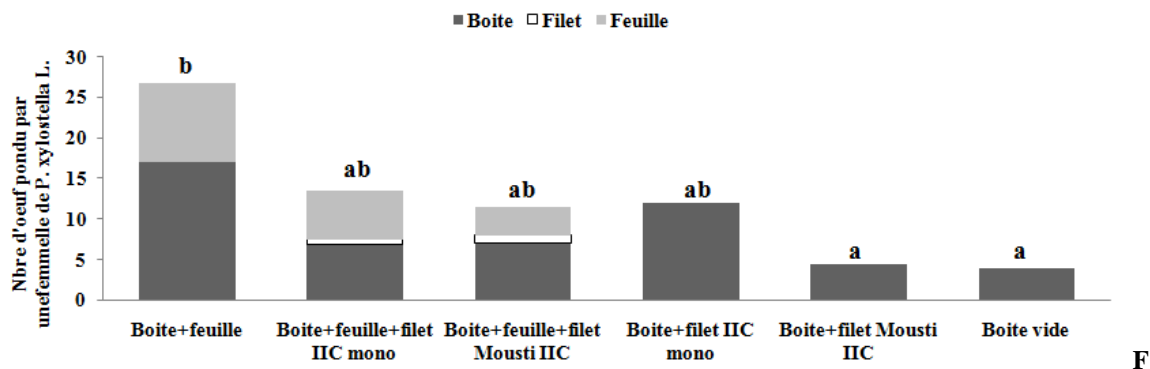


figure 17 : Nombre moyen d’œufs pondus par une femelle de *P. xylostella* mise dans une boite de Pétri avec différents supports (feuilles, filet Mousti IIC, filet IIC mono) comparé aux témoins (boite vide et boite+feuille). Les traitements ayant des lettres en commun ne présentaient pas de différences significatives. (Test de Conover-Iman à 5%)

2-2-Analyse des pontes sur les feuilles et les filets

L’analyse des pontes observées sur les filets et les feuilles des différents traitements à l’aide du test de Kruskal Wallis ($P < 0,0003$; DDL = 6 ; K = 25,18) a montré des différences significatives entre les moyennes (Tableau 6 et Annexe 2-b). Le test de Conover-Iman ($P < 0,0001$) a indiqué des différences significatives entre les traitements (Tableau 6).

Tableau 6 : Pontes de *Plutella xylostella* L. sur des feuilles et des filets placés en boite de Pétri

Variable	Moyenne	Ecart-type
Boite +feuille (feuille)	9,75 a	12,68
Boite+feuille+IIC mono (filet)	0,58 a	1,51
Boite+feuille+IIC mono (feuille)	6,08 a b	9,64
Boite+feuille+ Mousti IIC (filet)	1,00 a b	2,89
Boite+feuille+Mousti IIC(feuille)	3,25 a b c	4,86
Boite+IIC mono (filet)	0,00	0,00
Boite+Mousti IIC (filet)	0,00	0,00

Les lettres a b, c indiquent les différences significatives (Test de Conover-Iman avec $\alpha = 5\%$)

Le nombre d'œufs le plus important a été observé sur le témoin « boîte+feuille ». Aucun œuf n'a été pondu sur les filets en absence de feuille. Il n'y a pas eu de différence significative entre les pontes sur les filets en présence ou en absence de feuille

2-3-Test de choix de site d'oviposition en boîte de Pétri

2-3-1-Cas 1 : Choix entre deux filets, une feuille de chou et le fond de la boîte

Le test de Conover Iman à 1% ($P < 0,0001$; correction de Bonferroni = 0,0017) a montré que les femelles ont pondu significativement plus d'œufs sur les feuilles (92%) que sur les autres supports (filet en polyester, filet en polyéthylène, fond de la boîte) (Figure 18). Les pontes sur les filets n'ont pas été significativement différentes entre elles (Mann Whitney à 5%). Elles ont été nulles sur « Filet Mousti IIC » et très faibles sur « Filet IIC mono » (Annexe 3-a).

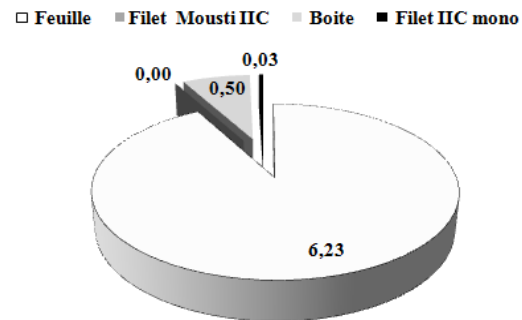


Figure 18 : Nombre moyen d'œufs pondus par une femelle de *P. xylostella* sur différents supports (feuilles, filet Mousti IIC, filet IIC mono) comparé au témoin (fond de la boîte) dans une boîte de Pétri

2-3-2-Cas 2 : Choix entre des portions de feuille de chou couvertes ou non de différents filets

Le test de Kruskal Wallis (à 1% avec $P \text{ value} < 0,0001$) a montré une différence significative entre les traitements (Figure 19). Les feuilles non couvertes par des filets ont été les sites d'oviposition préférés des femelles de *P. xylostella* (78,9% des œufs pondus). Les feuilles couvertes par des filets ont reçu 14,6% des œufs et les filets 6,4%. Il n'y a pas eu de différence significative entre le nombre d'œufs pondus sur les différents filets et sur les feuilles couvertes par ces filets, excepté entre le « Filet IIC mono » et les feuilles protégées par le « Filet Mousti IIC » (Figure 20 et Annexe 3-b et Annexe 3-c)

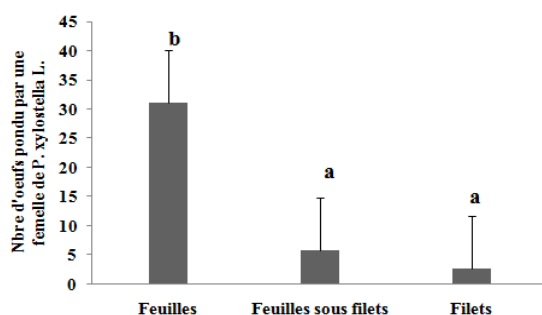


Figure 19 : Nombre moyen d'œufs pondus par une femelle de *P. xylostella* sur les feuilles sous filet et sur les filets couvrant les feuilles. Les pontes sur les 3 filets testés ont été regroupées, de même que celles sur les feuilles qu'ils couvrent. Les traitements ayant des lettres en commun ne présentaient pas de différences significatives. (Conover-Iman à 1%)

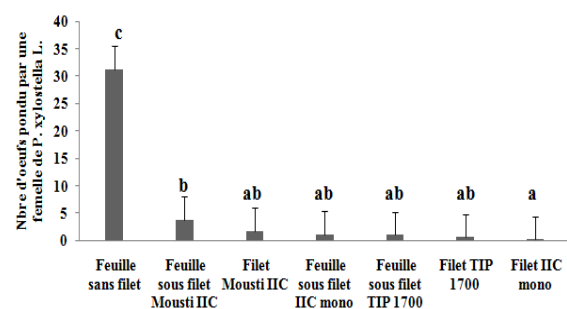


Figure 20 : Nombre moyen d'œuf pondus par femelle de *P. xylostella* sur des portions de feuilles couvertes ou non par des filets et sur les différents filets (IIC mono, TIP 1700 et Mousti IIC) couvrant les feuilles. Test de Conover-Iman à 1%. Les traitements ayant des lettres en commun ne présentaient pas de différences significatives

2-4-Test d'oviposition sans choix sur des plants de chou protégés par des filets anti-insecte

Les analyses ont montré des différences significatives dans le comportement d'oviposition de *P. xylostella* selon le type de tissage des filets (monofilament et multifilament) et de l'absence ou de la présence de contact entre les filets et les feuilles (Figure 21). L'analyse des pontes totales a montré que les plants témoins ont reçu plus d'œufs que les plants protégés par des filets. Lorsque les filets étaient en contact avec des feuilles, les pontes totales étaient plus importantes qu'en l'absence de contact. Les pontes sur les filets ont été observées dans toutes les situations (avec ou sans contact foliaire) (Tableau 7). Elles ont été significativement plus importantes sur les filets multifilaments que sur les filets monofilaments (test de Conover Iman à 5% avec P value < 0,0002 et correction de Bonferroni de 0,005). Il n'a pas été observé de différence significative entre les nombres d'œufs pondus sur les filets multifilaments avec ou sans contact foliaire. Les résultats des analyses de la distribution des pontes sur feuille et filet pour un même traitement figurent dans le tableau 8. Lorsque les plants étaient protégés par des filets monofilaments sans contact foliaire, aucun œuf n'a été observé sur les feuilles et quelques rares œufs ont été pondus sur les filets. En revanche, lorsqu'il y avait contact foliaire avec les filets monofilaments, les pontes ont été significativement plus importantes sur les feuilles que sur les filets (Annexe 4-a).

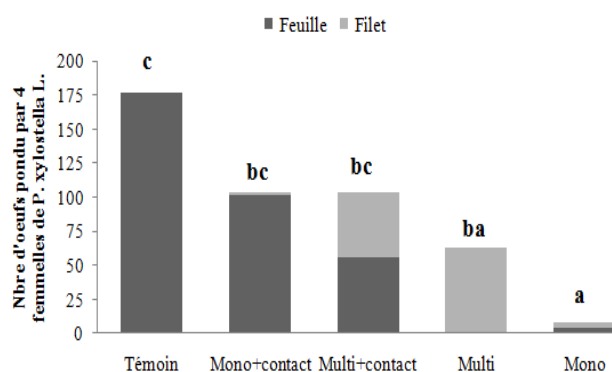


Figure 21 : Pontes sur des filets et sur des feuilles de quatre femelles de *P. xylostella* face à des plants protégés par des filets monofilaments et multifilaments en contact ou sans contact avec les feuilles, en situation sans choix. Les lettres a, b et c indiquaient les moyennes significativement différentes. test de Kruskal Wallis à 1% avec une P value de 0,0002 et par le test bilatéral de Conover Iman à 1% avec une correction de Bonferroni de 0,001. P value < 0,001.

Tableau 7 : Pontes de 4 couples de *P. xylostella* sur 2 types de filets protégeant des plants avec ou sans contact foliaire

Echantillon	Effectif	Moyenne
Mono	8	4,13 a*
Mono+contact	8	2,00 a*
Multi	8	62,75 b*
Multi+contact	8	48,13 b*

*Les moyennes suivies par les mêmes lettres indiquaient les pontes similaires (pas de différences significatives).

$K_{obs} = 22,44$; $K_{critique} = 9,49$; $DDL = 4$ et P-value bilatérale < 0,0002 pour un niveau de signification corrigé de Bonferroni de 0,005 avec $\alpha = 0,05$

Tableau 8 : Comparaisons bilatérales des pontes sur des filets monofilament et multifilament et sur les feuilles qu'ils protègent (avec et sans contact entre les deux supports)

Traitement	Feuille*	Filet*	p-value	alpha
Mono	0,00 ± 0,00 a	4,13 ± 5,79 a	0,077	0,05
Mono +contact	101,88 ± 55,17 a	2,00 ± 2,20 b	0,001	0,01
Multi	0,00 ± 0,00 a	62,75 ± 50,44 b	0,007	0,01
Multi +contact	55,63 ± 39,43 a	48,13 ± 39,44 a	0,721	0,05

*Moyennes des pontes des 4 femelles sur ces supports comparées à l'aide du test de Mann Whitney

Les lettres a et b indiquent les différences significatives entre les moyennes de la colonne.

Le nombre d'œufs pondus sur les filets monofilaments en contact avec les feuilles n'a pas été significativement différent de celui observé en l'absence de contact foliaire (Tableau 8). Avec les filets multifilaments, le nombre d'œufs a été équivalent sur les filets et sur les feuilles quand il y avait contact foliaire. En absence de contact les feuilles n'ont reçu aucun œuf, tandis qu'il a été observé autant d'œufs sur les filets multifilaments que lorsqu'il y avait contact. Les feuilles en contact avec les filets monofilaments ont reçu autant d'œuf que celles en contact avec les filets multifilaments et celles des plants témoins (non protégés). Par contre les feuilles des plants témoins ont reçu significativement plus d'œufs que les feuilles protégées par les filets multifilaments (Annexe 4-a).

2-5-Test d'oviposition de choix sur des plants protégés par un filet anti-insecte

Les pontes les plus importantes ont été observées sur les feuilles (protégées ou non), avec une différence significative (test de Mann-Whitney à 1% avec une P value <0,0001) par rapport aux deux types de filets (Figure 22).

Les femelles ont déposées trois fois plus d'œufs sur les plants non protégés (témoin) que sur les plants protégés par des filets avec une différence significative (Test de Conover-Iman à 1% avec P-value < 0,0001 et une correction de Bonferroni de 0,001) (Figure 23). Il n'y a pas eu de différence significative entre les filets avec ou sans contact avec les feuilles. Sur les traitements où les filets (mono et multifilament) sont en contact avec les feuilles, les pontes ont été significativement plus importantes (environ 20 fois) que sur les traitements où les filets ne sont pas en contact avec des feuilles. Il y a eu une différence significative entre les nombres d'œufs pondus sur les deux types de filets en situation de contact foliaire et les mêmes sans contact (Conover Iman à 1% à P-value

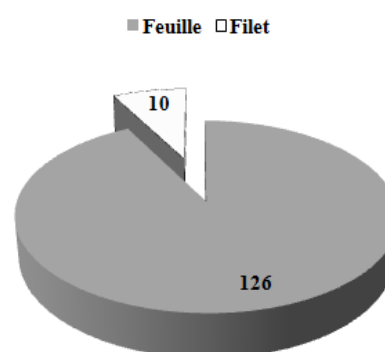


Figure 22 : Comparaison des pontes totales moyennes de 4 femelles de *P. xylostella* sur les filets et les feuilles des plants protégés ou non avec ou sans contact foliaire.

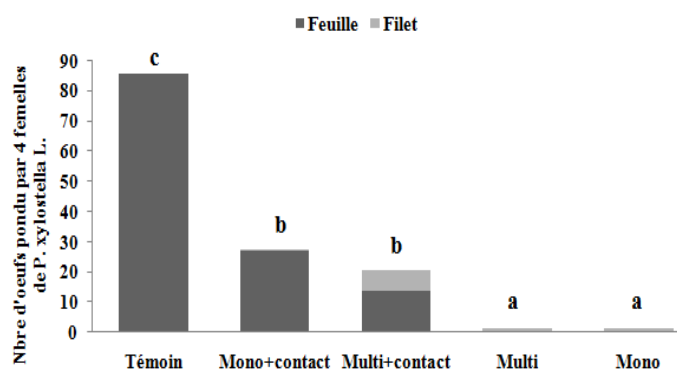


Figure 23 : Nombre d'œuf pondus par 4 femelles de *P. xylostella* sur des filets et des feuilles de plants protégés (avec ou sans contact foliaire) et un plant non protégé en situation de choix. Les lettres en minuscule indiquent des différences significatives entre les moyennes. Test de Kruskal Wallis avec $K_{obs} = 46,93$; $K_{critique} = 13,28$; DDL = 4 et P-value bilatérale < 0,0001 pour un niveau de signification corrigé de Bonferroni de 0,001 avec $\alpha = 0,01$ (Test bilatérale de Conover-Iman).

$< 0,0001$).

L'annexe 5-a donne plus de détail sur ces résultats.

3-Essai en plein champ

Dans cet essai des parcelles de choux protégées par des filets ont été comparées à un témoin non protégé. En raison d'un retard de réception du filet TIP250, le filet IIC mono a été placé sur toutes les parcelles protégées jusqu'au 1^{er} juin. A partir de cette date il a été remplacé par le filet TIP250 sur l'objet TIP250.

3-1-Suivi des populations de ravageurs et de pathogènes

3-1-1-Les lépidoptères : *Plutella xylostella* et *Pieris* spp

L'ANOVA à 5% ($R^2=0,91$ et $P<0,0001$) a montré une différence significative entre les cumuls (des observations hebdomadaires) des populations larvaires de *P. xylostella* entre les différents traitements (Figure 24). Il n'y a pas eu de différence significative entre les parcelles protégées par les deux types de filets (IIC mono et Filbio 317). Par contre le test de Fisher LSD à 5% ($P<0,0001$) a montré une différence significative entre les cumuls larvaires de *P. xylostella* des traitements sous filets et le témoin (non protégé). Le niveau d'infestation de *P. xylostella*, des parcelles protégées par les filets a été relativement faible avec moins d'une larve par plant, contre plus de 5 larves par plant, sur la parcelle témoin.

Des résultats similaires ont été observés sur les populations de Piérides. L'ANOVA à 5% ($R^2=0,63$ et $P=0,001$) a montré une différence significative entre les objets (Figure 25).

Il n'y a pas eu de différence entre les parcelles protégées, qui par ailleurs n'ont pas été infestées alors que la parcelle témoin a enregistré en moyenne 8,7 larves de piéride par plant. Le test de Fisher LSD à 5% ($P=0,001$) a montré une différence significative entre les populations de Piérides sur les parcelles témoins et les parcelles protégées.

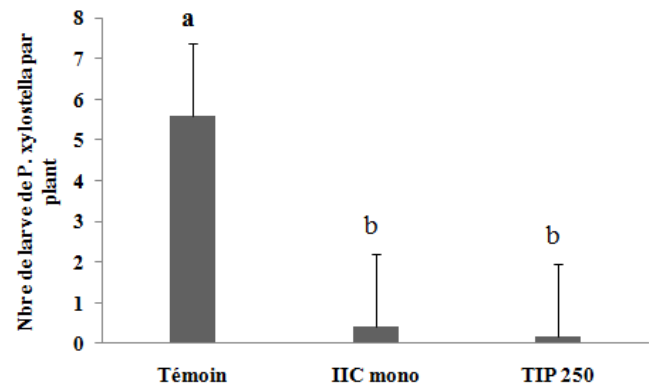


Figure 24 : Comparaison des cumuls larvaires de *P. xylostella* observés sur les traitements avec filets (IIC mono et Filbio 317) et le témoin (non protégé). Test de Fisher LSD à 5% ($P<0,0001$)

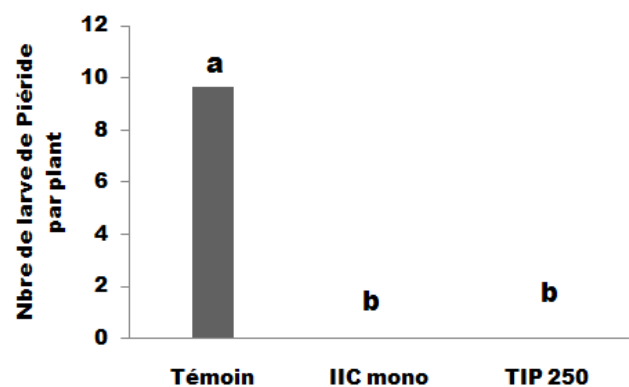


Figure 25 : Comparaison des cumuls larvaires de *Pieris* spp observés sur les traitements avec filets (IIC mono et Filbio 317) et le témoin (non protégé). Test de Fisher LSD à 5% ($P=0,001$)

3-1-2-Les pucerons

Deux espèces de Pucerons ont été observées sur les différentes parcelles : *Myzus Persicae* Sulzer qui est apparu dès le début de la culture et *Brevicoryne brassicae* L. observés à partir du dernier mois de culture. Il n'y a pas eu de différence entre les effectifs cumulés de *M. persicae* observés sur les différents traitements (ANOVA à un facteur à 5%). Par contre l'analyse de variance à 5% ($R^2=0,67$ et $P = 0,0002$) a montré une différence significative entre les moyennes cumulés de *B. brassicae* des différents traitements et également entre les moyennes des pucerons observés chaque semaine (Figure 26). Les effectifs ont été significativement plus importants sur les parcelles témoins que sur les parcelles protégées par les filets (Test de Fisher LSD à 5% avec $P<0,0001$). Il n'y a pas eu de différences significatives entre les infestations de *B. brassicae* observées avec les deux types de filets.

Des pucerons parasités ont été observés dans les parcelles des différents objets mais l'ANOVA n'a pas indiqué de différences significatives (Figure 27). Il est intéressant de noter que le taux de parasitisme des pucerons s'est maintenu plus longtemps sous filet entre la sixième et la septième semaine.

3-1-3-L'oïdium

En cours de culture, une infestation par l'oïdium a été observée sur les différentes parcelles. L'ANOVA à un facteur à 5% a montré une différence significative ($R^2=0,69$ et $P = 0,0002$) entre les niveaux d'infestation des différents traitements (Figure 28).

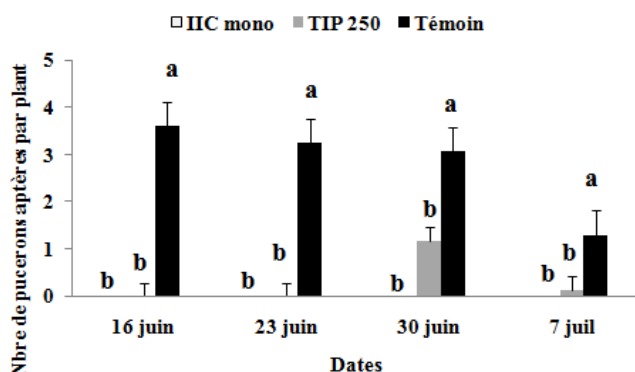


Figure 26 : Evolution des populations aptères de *B. brassicae* observées du 16 juin au 7 juillet sur les traitements avec filets (IIC mono et Filbio 317) et le témoin (non protégé). Test de Kruskal Wallis à 5% et test de Conover-Iman à 5% pour les comparaisons bilatérales.

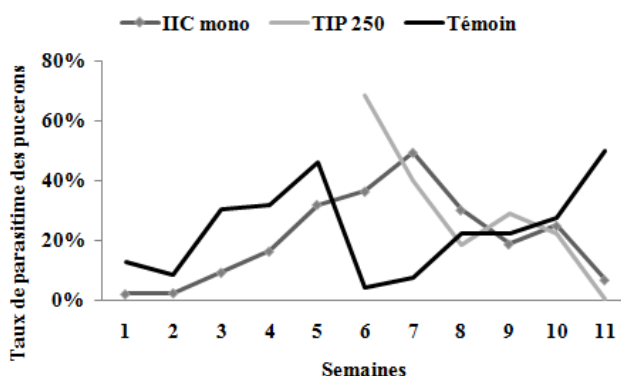


Figure 27 : Evolution hebdomadaire des taux de parasitisme des populations cumulées des Pucerons (*Brevicoryne brassicae* et *Myzus persicae*) sur les traitements avec filets (IIC mono et Filbio 317) et le témoin (non protégé).

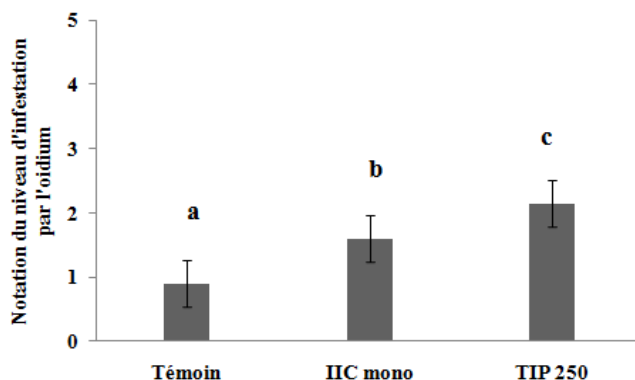


Figure 28 : Evaluation du niveau d'infestation moyen des choux par l'oïdium sur les traitements avec filets (IIC mono et Filbio 317) et le témoin (non protégé).

Le niveau d'infestation par l'oïdium a été plus élevé sur les parcelles protégées par les filets à petites mailles (Filbio 317) que sur celles avec les filets à maille plus large (IIC mono). Les plus faibles niveaux d'infestation ont été observés sur les parcelles témoins. Toutes les différences ont été significatives (Test de Fisher LSD, $P < 0.003$).

3-2- Effet des filets sur la pommaison et le rendement

La pommaison a débuté dès la 5^{ème} semaine après le repiquage. L'analyse de variance à 5% ($R^2=0,57$ et $P = 0,004$) faite sur l'observation à la récolte, a montré une différence significative entre les différents traitements (Figure 29). Il n'y a pas eu de différence significative entre les taux de pommaison obtenus avec les différents filets. Par contre ces deux traitements ont donné des taux de pommaison significativement plus élevés que le témoin (Test de Fisher LSD à 5% avec $P = 0,003$ et $P=0,005$).

L'analyse des rendements obtenus a montré également des différences entre les objets (ANOVA à un facteur à 5% avec $R^2=0,56$ et $P= 0,002$). Les rendements obtenus avec les traitements IIC mono et Filbio 317 ont été équivalents entre eux et significativement supérieurs à celui du témoin (Test de Fisher LSD à 5% avec $P = 0,009$ et $P=0,001$) (Figure 30).

3-3-Effets des filets sur le microclimat de la culture

Pour la température et l'humidité relative, deux périodes ont été considérées : Avant et après la mise en place du filet Filbio 317.

Durant la première période, une différence significative de l'humidité relative minimale a été observée au niveau des parcelles sous filet IIC mono et Témoin (Test de Wilcoxon signé à 5% avec $P<0,0001$). Contre toute attente la présence du filet a entraîné une diminution de l'humidité relative minimale de 0,5 %. Il n'y a pas eu de différences significatives entre les humidités relatives maximales des deux traitements durant cette première période (Figure 31).

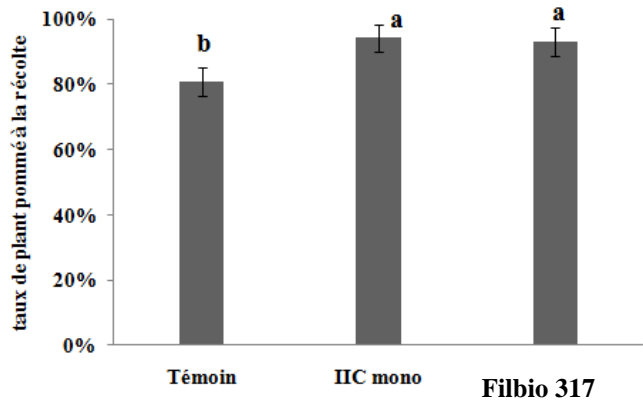


Figure 29 : Comparaison des pourcentages de plants pommés sur les parcelles protégées par des filets (Filbio 317 et IIC mono) et sur le témoin à la récolte, dans le cadre de l'essai au champ. Test de Fisher LSD à 5%.

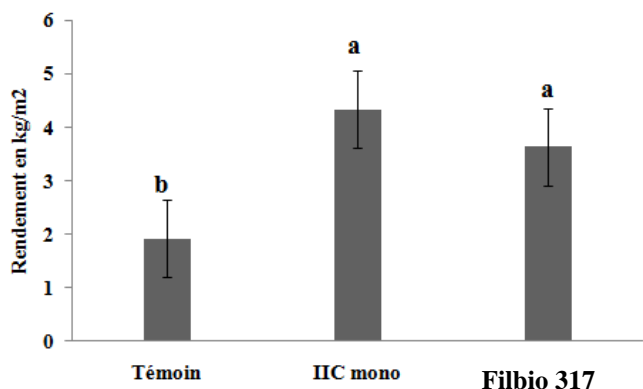


Figure 30 : Comparaison des rendements (en kg/m²) obtenus sur les parcelles protégées par des filets (Filbio 317 et IIC mono) et sur le témoin. Test de Fisher LSD à 5%.

Au cours de la seconde période, des différences significatives ont été observées entre les trois traitements (Test de Friedman à 5% avec $P < 0,0001$) pour l'humidité relative minimale et maximale. Les valeurs minimales ont été plus basses sur les parcelles protégées par les filets de plus petites mailles (Filbio 317) avec une moyenne de 34,3%.

Sous les filets IIC mono, l'humidité relative minimale a augmenté de 3%, par rapport à celle des filets Filbio 317. En absence de filet (parcelle témoin), l'humidité minimale a été de 3% supérieure. Toutes ces moyennes étaient significativement différentes les unes des autres (Test de Conover-Iman à 5% avec $P < 0,0002$). Les humidités maximales des trois traitements ont également été significativement différentes les unes des autres (Test de Conover-Iman à 5% avec $P < 0,01$). L'humidité a été plus importante sous le filet IIC mono et la plus basse sous le filet Filbio 317 (Figure 32).

En ce qui concerne la température, durant la première période, sa valeur moyenne minimale n'a pas été significativement différente entre les deux objets : filet IIC mono et témoin (Figure 33). Par contre au cours de la seconde période, le Test de Friedman à 5% ($P < 0,0001$) a montré des différences significatives entre les températures moyennes minimales des traitements. Les plus élevées ont été enregistrées sur les parcelles protégées par les filets, avec une valeur optimale de 15,43° C sous le filet à plus petite mailles (Filbio 317). Une différence significative a été montrée entre les minimas des deux filets (Test de Conover Iman à 5% avec $P < 0,0001$).

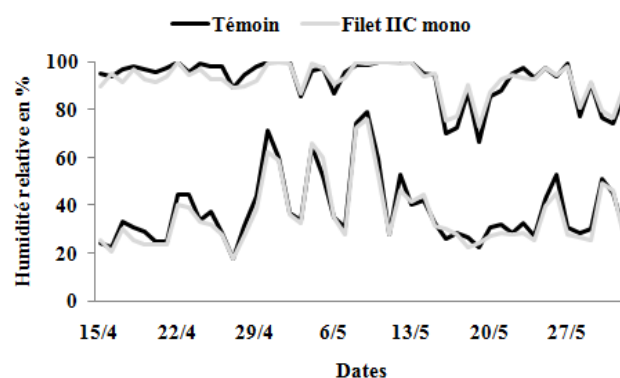


Figure 31 : Evolution des humidités relatives minimales et maximales des parcelles témoins et sous filet à larges mailles (Filet IIC mono) durant la première période de plantation (Avril à Mai)

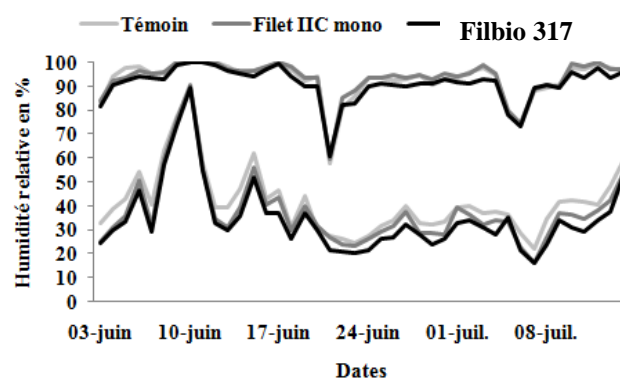


Figure 32 : Evolution des humidités relatives minimales et maximales des parcelles témoins et sous filet (IIC mono et Filbio 317) durant la seconde de période de plantation (Juin à Juillet)

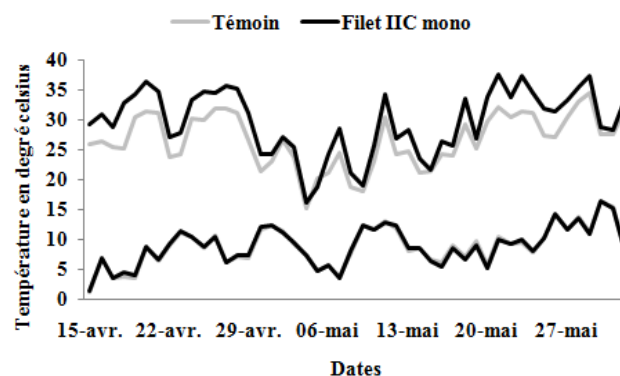


Figure 33 : Evolution des températures minimales et maximales des parcelles témoins et sous filet à larges mailles (IIC mono) durant la première période de plantation (Avril à Mai)

Les minimas sur les parcelles témoins ont été significativement plus bas que ceux observés sous les filets IIC mono (Test de Conover Iman à 5% avec $P=0,0001$). Les températures maximales ont présentées des différences marquées au cours des deux périodes. Durant la première période (Figure 34), les maximas sous filets IIC mono ont été significativement supérieures ($+3^{\circ}$) aux maximas enregistrés sur les parcelles témoins (Test de Wilcoxon signé à 5% avec $P<0,0001$). En seconde période, la température maximale a été la plus élevée sous les filets à petites mailles (Filbio 317) avec une différence significative vis-à-vis des autres traitements (Figure 35). Sous les filets à larges mailles (IIC mono), les maximas ont été significativement plus importants que sur les parcelles témoins (Test de Conover Iman à 5% avec $P=0,0001$).

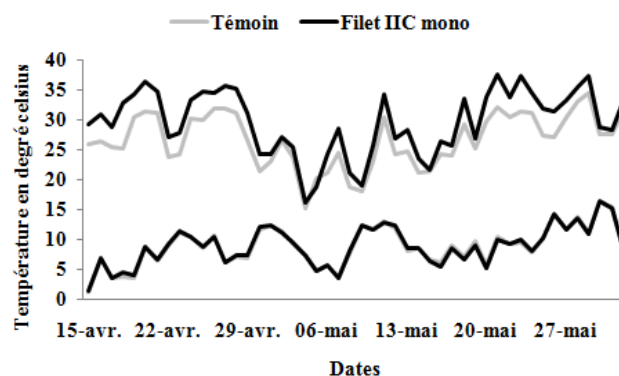


Figure 34 : Evolution des températures minimales et maximales des parcelles témoins et sous filet à larges mailles (IIC mono) durant la première période de plantation (Avril à Mai)

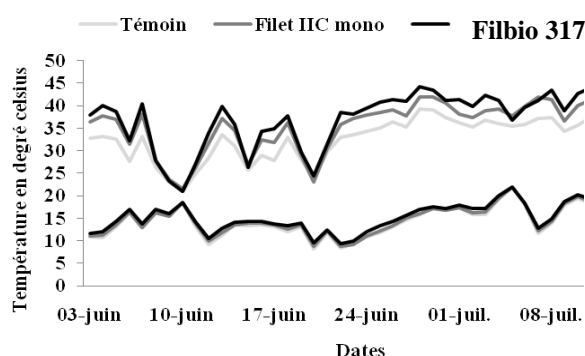


Figure 35 : Evolution des températures minimales et maximales des parcelles témoins et sous filet (IIC mono et Filbio 317) durant la seconde de période de plantation (Juin à Juillet)

Discussion des résultats

1-Evaluation de l'effet barrière des filets au champ

Les filets anti-insectes peuvent protéger efficacement les cultures de choux, contre les principaux ravageurs présents dans le Sud de la France tels que les lépidoptères *P. xylostella* et *Pieris* spp. et les pucerons *B. brassicae* et *M. persicae*. Ces résultats ont été obtenus en situation de choix pour les ravageurs : dans le dispositif utilisé les parcelles protégées par les filets étaient voisines des parcelles témoins non protégées. Les populations larvaires de *P. xylostella* et *Pieris* spp ont été respectivement 5 et 9 fois plus faibles sur les parcelles protégées par les filets que sur les parcelles témoins. Talekar *et al.* (2003) ont déjà montré l'efficacité des filets de mailles 0,8 mm contre les lépidoptères des choux en Asie du sud Est. Et des résultats similaires ont été obtenus au Bénin avec des à mailles de 1,334 mm x 1,6 mm et une pression parasitaire beaucoup plus importante (Martin *et al.* (2006) ; Licciardi *et al* (2007)). Les deux filets que nous avons testés au champ avaient pour l'un des mailles plus petites que celui testé en Asie (Filbio 317 de 0,85 mm) et pour l'autre des mailles comparables à celui utilisé au Bénin (IIC Mono de 1,47 mm).

Les filets ont permis de retarder d'un mois l'infestation du puceron *B. brassicae* par rapport aux parcelles témoin confirmant les résultats obtenus au Bénin avec un autre puceron du chou *Lipaphis erysimi* Kaltenbach (Licciardi *et al.* 2007). Ce phénomène n'a pas pu être observé avec *M. persicae* sans doute du fait que l'infestation était déjà présente sur les plants depuis la pépinière.

Les filets ont également permis d'améliorer la précocité de la pommaison. Fonctionnant comme des voiles de forçage, les filets à grandes et petites mailles ont entraîné respectivement une augmentation des températures minimales de 0,4°C et 0,9°C et maximales de 1,6°C et 4,4°C par rapport au témoin non protégé. Il a été montré que la croissance des choux pouvait varier en fonction de la température suivant une fonction linéaire (Pearson *et al.*, 1994) ou curvilinéaire (Rahman *et al.*, 2007). Une augmentation de température moyenne de 1 à 5°C pourrait permettre d'étendre la période de culture des choux d'hiver (printemps et automne), mais pourrait être préjudiciable aux choux d'été (Rahman *et al.*, 2007).

L'oïdium (*Erysiphe cruciferarum*) est apparu en cours de culture sur les feuilles de choux. Les infestations ont été significativement plus importantes sous les filets. Ce résultat pourrait s'expliquer par l'effet des plus fortes températures sur le développement de ce pathogène. En effet l'efficacité contaminatrice de la plupart des oïdiums ne dépend que de la température (Rapilly, 1990).

Enfin, tout comme dans les essais réalisés au Bénin (Martin *et al.*, 2006; Licciardi *et al.*, 2007), les rendements en quantité et en qualité des cultures de choux protégées par les deux types de filets ont été significativement supérieurs au témoin non protégé. Des résultats similaires ont été obtenus par Taylor *et al.*(2001) sur les cultures de tomates protégées par des filets contre *B. tabaci*.

2- Evaluation de l'effet barrière des filets au laboratoire

Contrairement aux observations du champ, au laboratoire, nous avons montré que si les adultes de *P. xylostella* ne passaient pas à travers le filet Filbio 317 à petites mailles (100% d'exclusion), ils pouvaient passer à travers le filet IIC Mono à mailles plus larges (42% d'exclusion). Une telle différence de comportement d'un insecte en présence d'un filet entre le champ et le laboratoire a aussi été observé avec le carpocapse *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae) (Alt Carpo, 2010). Il est donc possible qu'un filet dont les mailles n'excluent pas 100% des adultes en laboratoire soit pourtant efficace en plein champ. La capacité d'un insecte à traverser un filet ne dépend donc pas uniquement de la largeur de son thorax ni de la taille des mailles (Bethke et Paine, 1991).

Dans cette étude, l'efficacité des filets à exclure les adultes de *P. xylostella* a été inversement proportionnelle à la taille de leurs mailles. Ce résultat confirme logiquement des observations obtenus sur d'autres ravageurs (Bethke et Paine, 1991; Bethke *et al.*, 1994; Ajwang *et al.*, 2002). La protection physique contre *P. xylostella* a été totale avec le filet de maille 0,85 mm. Les premiers passages ont été observés avec le filet de maille 0,93 x 1,60 mm qui a exclu 90% des adultes de *P. xylostella*. Cette taille de maille est à la limite supérieure de l'intervalle (1-1,5 mm) recommandé contre les lépidoptères en général (Gerst, 1993). Par contre le filet à mailles plus larges de 1,33 x 1,60 mm, comparable à celui utilisé en plein champ au Bénin contre ce même ravageur (Martin *et al.*, 2006; Licciardi *et al.*, 2007), a présenté un taux d'exclusion de seulement 47%. La corrélation entre le taux d'exclusion et la taille des mailles nous a permis de calculer, pour 100% d'exclusion des adultes de *P. xylostella*, une taille de maille théorique de 0,79 mm de largeur maximale.

Nos tests ont aussi montré la capacité de *C. plutellae*, parasitoïde de *P. xylostella*, de traverser un filet qui bloque 90% de son hôte. Ce phénomène a aussi été observé par Bethke & Paine (1991) et Bethke *et al.* (1994). On peut donc faire l'hypothèse que dans les conditions naturelles, ce parasitoïde traversera le filet en quête d'hôtes. Nos observations au champ ne nous ont pas permis de conclure sur ce sujet, car la présence de ce parasitoïde n'a pas été décelée durant les essais. En revanche les taux de parasitisme des pucerons observés dans les parcelles protégées par des filets ont été comparables à ceux observés dans les parcelles témoin. Ces résultats permettent d'envisager des systèmes agricoles à bases de filets de protection qui bloqueraient une majorité de ravageurs tout en laissant passer leurs parasitoïdes. Reste à savoir si tous les parasitoïdes auront la même efficacité de recherche de l'hôte dans un environnement protégé par un filet et potentiellement appauvri en hôte ou comment pourrait-on les y attirer ou les introduire puis les y maintenir.

3- Comportement d'oviposition de *Plutella xylostella*

3-1-Effet inhibiteur des filets sur les pontes

D'après nos résultats, le comportement d'oviposition de *P. xylostella* est fortement influencé par la présence de sa plante hôte, ce qui confirme les études antérieures (Talekar et Shelton, 1993; Reddy *et al.*, 2002; Åsman et Ekbom, 2006). En présence d'une feuille de chou les pontes ont été 6,8 fois plus importantes qu'en absence de feuille. Même avec une barrière physique (filet), l'effet stimulant de la feuille de chou a favorisé les pontes. La préférence de *P. xylostella* pour les Brassicaceae, auxquelles elle est inféodée est bien établie (Talekar et Shelton, 1993). Nos résultats ont montré que lorsque les feuilles sont recouvertes d'un filet, la femelle pond préférentiellement à travers le filet sur les parties de la feuille accessibles à son ovipositeur.

Les barrières physiques que constituent les filets semblent avoir influencé de deux manières le comportement d'oviposition de *P. xylostella*. Outre l'exclusion des adultes, les filets ont permis de réduire les pontes sur les feuilles mises plus ou moins en contact dans les boîtes de Pétri, en ayant un effet dissuasif. Cet effet dissuasif sur les pontes lié à des signaux physiques naturels tels que les trichomes (Kumar, 1992) ou des signaux artificiels (fruits artificiels) a déjà été observé sur d'autres lépidoptères (Sosa Jr, 1988).

3-2-Analyse des pontes sur les filets

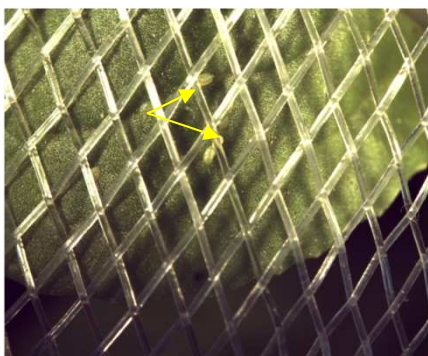


Figure 36 : Pontes de *P. xylostella* sur un filet monofilament en polyéthylène

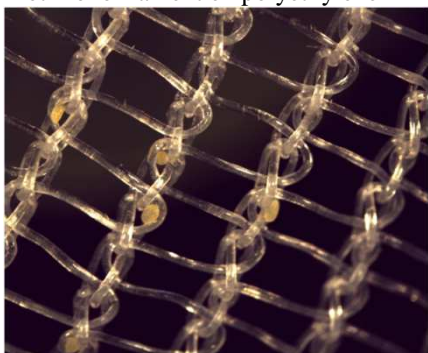


Figure 37 : Pontes *P. xylostella* sur un filet multifilament en polyéthylène

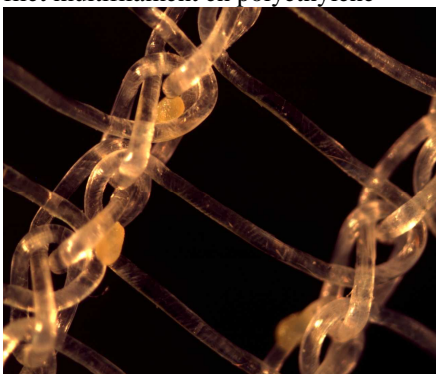


Figure 38 : Position des œufs de *P. xylostella* sur un filet multifilament



Figure 39 : Pontes de *P. xylostella* le long des nervures d'une feuille de chou (Cordero et Kuhar, 2009)

En situation de choix, nos résultats ont montré que, dans plus de 90% des cas, la femelle de *P. xylostella* préfère pondre sur les feuilles de chou.

En l'absence de choix nos résultats ont montré que les femelles de *P. xylostella* peuvent pondre sur des filets en polyéthylène multifilament mais rarement sur des filets monofilament (Figure 36). Les rares œufs observés sur le filet monofilament ont généralement été observés au dessus des pontes faites sur les feuilles en contact avec ce filet, ce qui suggère une ponte hasardeuse et accidentelle sur ce filet. En revanche les pontes sur les filets multifilament ont été en moyenne de 16 à 12 œufs/femelle selon que les filets étaient en contact ou non avec les feuilles (de 1 à 5 cm au dessus). Sur ce type de filet, les œufs étaient répartis plus ou moins aléatoirement (non groupés) le long des filaments entrecroisés (Figure 37) : les œufs se retrouvent coincés entre ces filaments (Figure 38) et donc protégés des intempéries. Après éclosion les néonates descendent sur la feuille à l'aide de fils de soie. La protection offerte aux œufs de *P. xylostella* par les filaments entrecroisés du filet multifilament s'apparente à celles des nervures d'une feuille de chou (Figure 39), qui sont les zones de pontes de prédilection (Talekar et Shelton, 1993). Des comportements similaires d'oviposition sur des supports physiques avec la plante l'hôte ont été observés chez les mouches des fruits -Diptera- Terphritidae- (Aluja et Mangan, 2008) et chez le papillon *Neoleucinodes elegantalis* Guenee (Lepidoptera, Crambidae) (Pontes *et al.*(2010). Des pontes de lépidoptères Noctuidae (*Spodoptera littoralis* et *S. litura*) ont également été observés au champ sur des filets de protection en nylon « uniformément tissé » (Talekar *et al.*, 2003) et sur des filets en polyester multifilament (Licciardi *et al.*, 2007).

Ces résultats ont mis en évidence les risques liés à l'utilisation de filets multifilaments pour protéger les cultures de chou contre *P. xylostella* et de comprendre le comportement de ponte de

ce ravageur face à des barrières physiques. Ces informations apparaissent nécessaires à la mise en place et à l'optimisation d'un système de culture protégé en plein champ, contre ce papillon mais également contre d'autres lépidoptères pour lesquelles à notre connaissance aucune étude de ce type n'a encore été effectuée.

L'absence d'œuf sur les filets monofilament en absence de choix et la présence de pontes dispersées observées sur les filets multifilaments, montrent bien l'importance de la structure physique des filets sur le comportement d'oviposition de *P. xylostella*. Aucun effet significatif du type de matériau utilisé dans les filets (polyester vs polyéthylène) sur la quantité d'œufs pondus n'a pu être observé dans les expériences menées en boîte de Pétri. Cela tend à montrer que la ponte sur les filets est principalement liée à la structuration (enchevêtrement) des filaments.

Ce comportement de ponte sur les filets n'a pas fait l'objet d'observation au champ. Dans le dispositif expérimental la proximité des parcelles protégées (sous filets) et non protégées (témoin) s'apparentait au test de choix en laboratoire : Les femelles ont donc pondu essentiellement sur les plantes hôtes non protégées d'où une infestation plus importantes sur ces plantes.

3-3-Arbre de décision

Le comportement d'oviposition de *P. xylostella* face à des choux protégés par des filets anti-insectes peut être résumé par l'arbre de décision de la Figure 40. Ce comportement est proche de celui décrit par Thompson et Pellmyr (1991) où les facteurs physiques et chimiques jouent un rôle important dans la décision de la femelle lépidoptère de pondre ou non sur une plante sur laquelle elle a atterri.

Les femelles de lépidoptères ont une préférence pour les plants qui pourront maximiser la survie et le développement des larves (Thompson et Pellmyr, 1991; Renwick et Chew, 1994). L'option de pondre sur les filets multifilament en situation sans choix a mis en exergue la capacité d'adaptation des femelles à une situation pouvant mettre en péril la survie de leur progéniture.

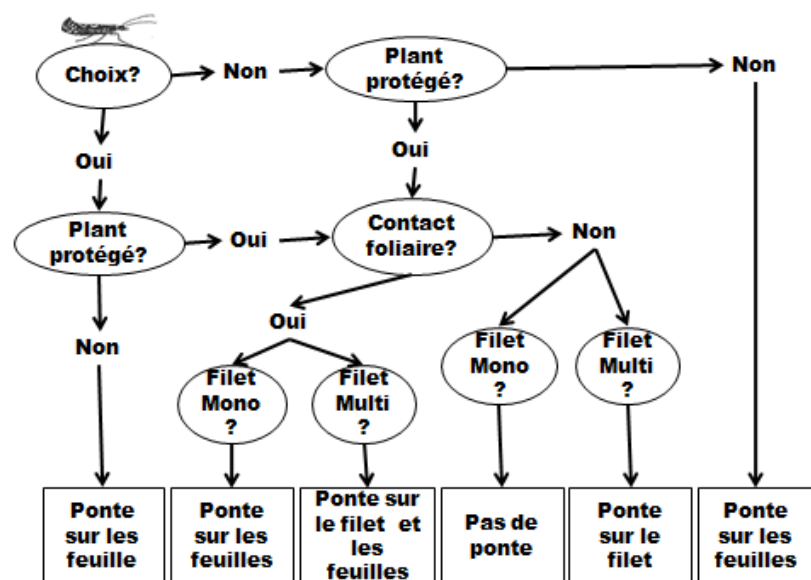


Figure 40 : Arbre de décision récapitulant le comportement d'oviposition de *P. xylostella* face à des plants protégés ou non par des filets anti-insectes en polyéthylène (monofilament et multifilament).

La rareté des pontes sur les filets monofilament qui semblent moins appropriés à la dépose des œufs conforte cette hypothèse, dans la mesure où Åsman et Ekbom (2006) ont montré que les femelles de *P. xylostella* pouvaient, en cas de privation de leur plante hôte, se retenir et pondre pendant 5 jours sans diminution significative de la quantité d'œufs pondus.

Conclusion

Les filets anti-insecte peuvent avoir un effet sur le comportement d'oviposition des insectes. Dans le cas de *P. xylostella*, le type de matériau n'a pas d'effet significatif sur ce comportement, à la différence du type de filament utilisé. Les filets multifilament, peuvent s'avérer risqué, car suivant leur enchevêtrement, ils peuvent être des supports de pontes aussi attrayant que la culture qu'ils protègent. Les filets de protection peuvent être à la base d'un système de production intégrée (E.F. Boller *et al.*, 2004) pour la culture du chou en plein champ. En l'absence de choix, il serait préférable d'utiliser des filets monofilament de maille inférieure à 1,14 mm² ayant un effet barrière efficace à 100% contre *P. xylostella*. Par contre, en situation de choix l'utilisation possible de filets à maille plus large ou de filets multifilament permettra d'améliorer la ventilation sous l'abri. Ce système pourrait aussi associer des cultures intercalaires permettant de réduire les infestations de *P. xylostella*, (Hooks et Johnson, 2003; Beyene, 2007) ou de *Mamestra brassicae* L., *Brevicoryne brassicae* L., *Delia brassicae* L. (Theunissen *et al.*, 1995) et l'utilisation de plantes pièges ayant le même effet (Shelton et Badenes-Perez, 2006; Badenes-Perez *et al.*, 2009; George *et al.*, 2009).

Dans la pratique cela se traduirait par la présence de plants non protégés à proximité d'une parcelle protégée. L'expérimentation au champ a montré l'intérêt de ce dispositif avec un ratio d'1/3 non protégé mais le ratio optimal et la disposition au champ reste à définir.

Les résultats que nous avons obtenus au laboratoire sur le comportement de *P. xylostella* face à des filets et au champ nous permettent de conclure qu'une situation de choix permettrait d'obtenir une protection satisfaisante de la culture. Cela pourrait être le cas si on utilisait comme culture intercalaire et/ou plantes pièges, des plants de la spéculation cultivée, non protégés. Des études complémentaires devraient permettre d'analyser l'impact des filets sur d'autres ravageurs du chou comme la mouche du chou, sur les prédateurs et d'autres parasitoïdes. Enfin, l'amélioration de ce système de culture devra prendre en compte l'impact des filets sur le développement des pathogènes tel que l'oïdium. Une alternative à l'usage de filet à mailles très fine (excluant 100% des lépidoptères) qui semblent favoriser le développement des pathogènes, serait d'utiliser des filets avec des mailles n'excluant pas 100% des ravageurs (en laboratoire), mais qui couplés à la culture intercalaire et aux plantes pièges, permettrait d'obtenir une protection satisfaisante contre les principaux ravageurs.

Bibliographie

- A.R.Syed (1990). Insecticide Resistance in Diamondback Moth in Malaysia. *in Proceedings of the second international workshop: Diamondback moth and other crucifer pests*: 437-442.
- Ajwang, P., Tantau, H. J. & von Zabeltitz, C. (2002). Insect screens for integrated production and protection in greenhouses: A review of the physical and technical basics. *Gartenbauwissenschaft* 67(2): 45-49.
- Alonso, R. J. C. (2005). Contributions toward the integrated pest management of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), on collards in Virginia. *PHD Thesis*.
- Aluja, M. & Mangan, R. L. (2008). Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) Host Status Determination: Critical Conceptual, Methodological, and Regulatory Considerations*. *Annual Review of Entomology* 53(1): 473-502.
- Åsman, K. & Ekbom, B. (2006). Responses of ovipositing moths to host plant deprivation: life history aspects and implications for intercropping. *Agricultural and Forest Entomology* 8(3): 213-219.
- Badenes-Perez, F. R., Shelton, A. M. & Nault, B. A. (2009). Evaluating Trap Crops for Diamondback Moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology* 97(4): 1365-1372.
- Baek, J. H., Clark, J. M. & Lee, S. H. (2010). Cross-strain comparison of cypermethrin-induced cytochrome P450 transcription under different induction conditions in diamondback moth. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 96(1): 43-50.
- Berlinger, M. J., Jarvis, W. R., Jewett, T. J. & Lebiush-Mordechi, S. (1999). Managing the greenhouse, crop and environment *in Integrated pest and disease management in greenhouse. Edité par R Albajes, ML Gullino, JC Van Lenteren, Y Elad*: 97-118.
- Berlinger, M. J., Taylor, R. A. J., Lebiush-Mordechi, S., Shalhevet, S. & Spharim, I. (2002). Efficiency of insect exclusion screens for preventing whitefly transmission of tomato yellow leaf curl virus of tomatoes in Israel. *Bulletin of Entomological Research* 92(5): 367-373.
- Bethke, J. A. & Paine, T. D. (1991). Screen hole size and barriers for exclusion of insect pests of glasshouse crops. *Journal of Entomological Science* 26(1): 169-177.
- Bethke, J. A., Redak, R. A. & Paine, T. D. (1994). Screens deny specific pests entry to greenhouses. *California Agriculture* 48 (3): 37-40.
- Beyene, B. (2007). Studies on the Effect of Intercropping and Application of Livestock Manure on the Infestation and Damage of Kale (*Brassica oleracea* L. var acephala) by Diamondback Moth, *Plutella xylostella* Lepidoptera: Plutellidae) in a Bio-farming systems.
- Bruce E. Tabashnik, I. Naomi Finson, Marshall W. Johnson & David G. Heckel (1994). Cross-Resistance to *Bacillus thuringiensis* Toxin CryIF in the Diamondback Moth (*Plutella xylostella*). *Applied and Environmental Microbiology* 60(12): 4627-4629.
- Cameron, P. J., Walker, G. P., Berry, N. A. & Research, N. Z. I. f. C. F. (2000). *Integrated pest management for brassicas*. Christchurch, N.Z. : New Zealand Institute for Crop & Food Research.
- Carpenter, J. E. & Bloem, S. (2002). Interaction between insect strain and artificial diet in diamondback moth development and reproduction. *Entomologia Experimentalis Et Applicata* 102: 283-294.
- Chapman, J. W., Reynolds, D. R., Smith, A. D., Riley, J. R., Pedgley, D. E. & Woiwod, I. P. (2002). High-altitude migration of the diamondback moth *Plutella xylostella* to the UK: a study using radar, aerial netting, and ground trapping. *Ecological Entomology* 27(6): 641-650.
- Cordero, R. J. & Kuhar, T. P. (2009). Diamondback Moth in Virginia. *Virginia cooperative extension publication* 444-007: 3.
- Cordero, R. J. A. (2005). Contributions toward the integrated pest management of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), on collards in Virginia. *PHD Thesis*.

- Desmarais, G. & Vigaya Raghavan, G. S. (1997). Thermal characteristic of greenhouse configurations in a West African tropical climate. *Acta Hort. (ISHS)* 443: 39-46.
- Dunhawoor, C. & Abeeluck, D. (2003). Rearing of the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae) on artificial diet in the laboratory. *Acta Hort. (ISHS)*: 133-139.
- E.F. Boller, J. Avilla, E. Joerg, C. Malavolta, Wijnands, F. G. & Esbjerg, P. (2004). Integrated Production Principles and Technical Guidelines, 3rd Edition. *IOBC wprs Bulletin* 27 (2): 54.
- Ehler, L. E. (2006). Integrated pest management (IPM): Definition, historical development and implementation, and the other IPM *Pest Management Science* 62: 787-789.
- Eigenbrode, S. D. & Shelton, A. M. (1990). Resistance to Diamondback Moth in Brassica: Mechanisms and Potential for Resistant Cultivars. in *Proceedings of the second international workshop: Diamondback moth and other crucifer pests*: 65-74.
- George, D. R., Collier, R. & Port, G. (2009). Testing and improving the effectiveness of trap crops for management of the diamondback moth *Plutella xylostella* (L.): a laboratory-based study. *Pest Management Science* 65(11): 1219-1227.
- Gerst, J.-J. (1993). Légumes sous bâches, guide pratique: chapitre 5: la protection intégrée et les bâches éditions du Centre technique interprofessionnel des fruits et des légumes, *Ctifl*: 75 à 82.
- Goodwin, S. & Danthanarayana, W. (1984). Flight Activity of *Plutella xylostella* (L) (Lepidoptera, Yponomeutidae). *Journal of the Australian Entomological Society* 23: 235-240.
- Gu, H. (2009). Cold Tolerance and Overwintering of the Diamondback Moth (Lepidoptera: Plutellidae) in Southeastern Australia. *Environmental Entomology* 38(3): 524-529.
- Hama, H. (1992). Insecticide Resistance Characteristics of Diamondback Moth.
- Harcourt, D. G. (1957). Biology of the Diamondback Moth, *Plutella maculipennis* (Curt.) (Lepidoptera: Plutellidae), in Eastern Ontario. II. Life-History, Behaviour, and Host Relationships. *Entomological Society of Canada* 89(12): 554-564.
- Hill, T. A. & Foster, R. E. (2000). Effect of Insecticides on the Diamondback Moth (Lepidoptera: Plutellidae) and Its Parasitoid *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Journal of Economical Entomology* 93(3): 763-768.
- Holt, J., Pavis, C., Marquier, M., Chancellor, T. C. B., Urbino, C. & Boissot, N. (2008). Insect-screened cultivation to reduce the invasion of tomato crops by *Bemisia tabaci*: modelling the impact on virus disease and vector. *Agricultural and Forest Entomology* 10(1): 61-67.
- Hooks, C. R. R. & Johnson, M. W. (2003). Impact of agricultural diversification on the insect community of cruciferous crops. *Crop Protection* 22(2): 223-238.
- Kao, S.-S. & Tzeng, C.-C. (1990). Toxicity of Insecticides to *Cotesia plutellae*, a Parasitoid of Diamondback Moth. in *Proceedings of the second international workshop: Diamondback moth and other crucifer pests*: 287-296.
- Kumar, H. (1992). Inhibition of Ovipositional Responses of *Chilo partellus* (Lepidoptera: Pyralidae) by the Trichomes on the Lower Leaf Surface of a Maize Cultivar. *Journal of Economic Entomology* 85: 1736-1739.
- Kwon, S. & Kim, Y. (2007). Immunosuppressive action of pyriproxyfen, a juvenile hormone analog, enhances pathogenicity of *Bacillus thuringiensis* subsp *kurstaki* against diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera : Yponomeutidae). *Biological Control* 42(1): 72-76.
- Lengeler, C. (2004). Insecticide-treated bed nets and curtains for preventing malaria *The Cochrane Database of Systematic Reviews*. *Swiss Tropical Institute* (2): 1-6.
- Licciardi, S., Assogba-Komlan, F., Sidick, I., Chandre, F., Hougard, J. M. & Martin, T. (2007). A temporary tunnel screen as an eco-friendly method for small-scale farmers to protect cabbage crops in Benin. *International Journal of Tropical Insect Science* 0(0): 1-8.
- Ma, W., Li, X., Dennehy, T. J., Lei, C., Wang, M., Degain, B. A. & Nichols, R. L. (2010). Pyriproxyfen Resistance of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) Biotype B: Metabolic Mechanism. *Journal of Economic Entomology* 103(1): 158-165.

- Martin, T., Assogba-Komlan, F., Houndete, T., Hougard, J. M. & Chandre, F. (2006). Efficacy of Mosquito Netting for Sustainable Small Holders' Cabbage Production in Africa. *Journal of Economical Entomology* 99(2): 450-454.
- Mitchell, E. R., Tingle, F. C., Navesero-Ward, R. C. & Kehat, M. (1997). Diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae): Parasitism by *Cotesia plutellae* (Hymenoptera: braconidae) in cabbage. *Florida Entomologist* 80(4): 477-489.
- Miyata, T., Noppun, V. & Saito, T. (1990). Inheritance of Resistance to Phenthoate and Fenvalerate Diamondback Moth and Management of Insecticide Resistance. in *Proceedings of the second international workshop: Diamondback moth and other crucifer pests*: 477-486.
- Möller, M., Tanny, J., Cohen, S. & Teitel, M. (2003). Micrometeorological Characterisation in a Screenhouse. *Proc. 6th IS on Protected Cult. Eds: G. La Malfa et al. Acta Hort* 614, ISHS 2003 614.
- Moller, M., Tanny, J., Li, Y. & Cohen, S. T. (2004). Measuring and predicting evapotranspiration in an insect-proof screenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology* 127(1-2): 35-51.
- Montero, J. I., Antón, A., Hernández, J. & Castilla, N. (2001). Direct and diffuse light transmission of insect-proof screens and plastic films for cladding greenhouses. *Acta Hort. (ISHS)* 559: 203-210.
- Nyambo, B. & Löhr, B. (2005). The role and significance of farmer participation in biocontrol-based IPM for brassica crops in East Africa. *Second International Symposium on Biological Control of Arthropods*: 290-301.
- Ooi, P. A. C. (1990). Role of Parasitoids in Managing Diamondback Moth in the Cameron Highlands, Malaysia. in *Proceedings of the second international workshop: Diamondback moth and other crucifer pests*: 255-262.
- Oouchi, H. (2005). Insecticidal properties of a juvenoid, pyriproxyfen, on all life stages of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera : Yponomeutidae). *Applied Entomology and Zoology* 40(1): 145-149.
- Pearson, S., Hadley, P. & Wheldon, A. E. (1994). A model of the effects of temperature on the growth and development of cauliflower (*Brassica oleracea* L Botrytis). *Scientia Horticulturae* 59(2): 91-106.
- Polston, J. E. & Lapidot, M. (2007). Management of Tomato yellow leaf curl virus: US and Israel perspectives. In: *Tomato Yellow Leaf Curl Virus Disease (Czosnek, H. Ed) Springer, The Netherlands, pp. . 251-262.*
- Pontes, W. J. T., Lima, E. R., Cunha, E. G., Andrade, P. M. T. D., Lôbo, A. P. & Barros, R. (2010). Physical and chemical cues affect oviposition by *Neoleucinodes elegantalis*. *Physiological Entomology* 9999(9999).
- Prokopy, R. J. (2003). Two decades of bottom-up, ecologically based pest management in a small commercial apple orchard in Massachusetts. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 94(3): 299-309.
- Rahman, H. U., Hadley, P. & Pearson, S. (2007). Relationship between temperature and cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) growth and development after curd initiation. *Plant Growth Regulation* 52(1): 61-72.
- Rapilly, F. (1990). L'épidémiologie en pathologie végétale - mycoses aériennes. *Mieux comprendre, INRA*: 317.
- Raya, V., Parra, M. & Cid, M. C. (2006). Influence of changes in cover and height on the climate of canary-screenhouses for tomato growth: Preliminary results. In *Proceedings of the International Symposium on Greenhouse Cooling*, 535-541 (Eds B. J. Bailey, J. J. PerezParra and J. I. Montero). Leuven 1: International Society Horticultural Science.
- Reddy, G. V. P. & Guerrero, A. (2000). Behavioral Responses of the Diamondback Moth, *Plutella xylostella*, to Green Leaf Volatiles of *Brassica oleracea* Subsp. capitata. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 48: 6025-6029.
- Reddy, G. V. P., Holopainen, J. K. & Guerrero, A. (2002). Olfactory responses of *Plutella xylostella* natural enemies to host pheromone, larval frass, and green leaf cabbage volatiles. *Journal of Chemical Ecology* 28 (1): 131-143.
- Renwick, J. A. A. & Chew, F. S. (1994). Oviposition Behavior in Lepidoptera. *Annual Review of Entomology* 39(1): 377-400.

- Roßbach, A., Löhr, B. & Vidal, S. (2005). Generalism Versus Specialism: Responses of *Diadegma mollipla* (Holmgren) and *Diadegma semiclausum* (Hellen), to the Host Shift of the Diamondback Moth (*Plutella xylostella* L.) to Peas. *Journal of Insect Behavior* 18(4): 491-503.
- Saeed, R., Sayyed, A. H., Shad, S. A. & Zaka, S. M. (2010). Effect of different host plants on the fitness of diamond-back moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protection* 29(2): 178-182.
- Sandur, S. (2004). Implications of Diamondback moth control for Indian cabbage farmers.
- Sayyed, A. H., Omar, D. & Wright, D. J. (2004). Genetics of spinosad resistance in a multi-resistant field-selected population of *Plutella xylostella*. *Pest Management Science* 60(8): 827-832.
- Shelton, A. M. & Badenes-Perez, E. (2006). Concepts and applications of trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology* 51: 285-308.
- Sosa Jr, O. (1988). Pubescence in Sugarcane as a Plant Resistance Character Affecting Oviposition and Mobility by the Sugarcane Borer (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economic Entomology* 81: 663-667.
- Sun, C. N., Tsai, Y. C. & Chiang, F. M. (1992). Resistance in the Diamondback Moth to Pyrethroids and Benzoylphenylureas. In *Molecular Mechanisms of Insecticide Resistance*, 149-167 Washington, DC: American Chemical Society.
- Tabashnik, B. E., Carriere, Y., Dennehy, T. J., Morin, S., Sisterson, M. S., Roush, R. T., Shelton, A. M. & Zhao, J.-Z. (2003). Insect Resistance to Transgenic Bt Crops: Lessons from the Laboratory and Field. *Journal of Economic Entomology* 96 (4): 1031-1038.
- Tabashnik, B. E., Finson, N., Schwartz, J. M., Caprio, M. A. & Johnson, M. W. (1990). Diamondback Moth Resistance to *Bacillus thuringiensis* in Hawaii. in *Proceedings of the second international workshop: Diamondback moth and other crucifer pests*: 175-184.
- Talebi, N. E. A. A. & Fathipour, Y. (2009). Demographic parameters of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lep.: Plutellidae) on five rapeseed cultivars. *Journal of Entomological Society of Iran* 28(2): 49-59.
- Talekar, N. S. & Lin, M.-Y. (1998). Training on Diamondback Moth management. AVRDC Publication No. 98-472: 68.
- Talekar, N. S. & Shelton, A. M. (1993). Biology, ecology, and management of the diamondback moth. *Annual Review of Entomology* 38: 275-301.
- Talekar, N. S., Su, F. C. & Lin, M. Y. (2003). How to Grow Safer Leafy Vegetables in Nethouses and Net Tunnels. AVRDC pub 03-558.
- Tanny, J., Cohen, S. & Teitel, M. (2003). Screenhouse microclimate and ventilation: an experimental study. *Biosystems Engineering* 84(3): 331-341.
- Tanny, J., Teitel, M., Barak, M., Esqira, Y. & Amir, R. (2008). The Effect of Height on Screenhouse Microclimate. In *Proceedings of the International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management, Vols 1 and 2*, 107-114 (Eds S. DePascale, G. S. Mugnozza, A. Maggio and E. Schettini). Leuven 1: International Society Horticultural Science.
- Taylor, R. A. J., Shalhevet, S., Spharim, I., Berlinger, M. J. & Lebiush-Mordechi, S. (2001). Economic evaluation of insect-proof screens for preventing tomato yellow leaf curl virus of tomatoes in Israel. *Crop Protection* 20(7): 561-569.
- Teitel, M., Barak, M., Berlinger, M. J. & Lebiush-Mordechai, S. (1999). Insect-proof screens in greenhouses: their effect on roof ventilation and insect penetration. *Acta Hort. (ISHS)* : 507: 25-34.
- Theunissen, J., Booij, C. & Lotz, L. (1995). Effects of intercropping white cabbage with clovers on pest infestation and yield. *Entomologia Experimentalis Et Applicata* 74(1): 7-16.
- Thompson, J. N. & Pellmyr, O. (1991). Evolution of Oviposition Behavior and Host Preference in Lepidoptera. *Annual Review of Entomology* 36(1): 65-89.
- Weintraub, P. G. (2009). Physical Control: An Important Tool in Pest Management Programs. 317-324.

- Weintraub, P. G. & Berlinger, M. J. (2004). Physical control in greenhouses and field crops. Horowitz, A. R. and I. Ishaaya, editors. Insect pest management 2004. 301–318. Springer-Verlag. Berlin, Germany.
- Wood, C. R., Reynolds, D. R., Wells, P. M., Barlow, J. F., Woiwod, I. P. & Chapman, J. W. (2008). Flight periodicity and the vertical distribution of high-altitude moth migration over southern Britain. *Bulletin of Entomological Research* DOI to follow.
- Zhao, J.-Z., Li, Y.-X., Collins, H. L., Gusukuma-Minuto, L., Mau, R. F. L., Thompson, G. D. & Shelton, A. M. (2002). Monitoring and Characterization of Diamondback Moth (Lepidoptera: Plutellidae) Resistance to Spinosad. *Journal of Economic Entomology* 95(2): 430-436.

Sitographie

Alt Carpo (2010). Alt carpo (page consulté le 07/09/2010) : Expérimentation
<http://www.alt-carpo.com/5.cfm?p=545-protection-contre-le-carpocapse-protection-pommes-experimentation-severac-alt-carpo>

Annexes

Annexe 1 : Test d'efficacité des filets comme barrière physique

Annexe 1-a : Résultats du test de Fisher LSD à 5% de comparaison bilatérale des taux de passage des adultes de *P. xylostella* à travers les filets

Annexe 2 : Résultats du test d'oviposition de *P. xylostella* sans choix en boîte de Pétri

Annexe 2-a : Test de Conover-Iman à 5% de comparaison des pontes de *P. xylostella* sur des supports différents en condition sans choix en boîte de Pétri

Annexe 2-b : Test de Conover-Iman à 5% de comparaison des pontes de *P. xylostella* sur les feuilles et les filets en condition sans choix en boîte de Pétri

Annexe 3 : Résultats des tests d'oviposition de *P. xylostella* en situation de choix entre plusieurs supports de ponte en boîte de Pétri

Annexe 3-a : Test de Conover-Iman à 1% de comparaison des pontes de *P. xylostella* sur des supports en situation de choix dans une boîte de Pétri

Annexe 3-b : Test de Conover-Iman à 1% de comparaison des pontes de *P. xylostella* sur les feuilles protégées (sous filet), non protégées (sans filet) et sur les filets en situation de choix dans une boîte de Pétri

Annexe 3-c : Test de Conover-Iman à 1% de comparaison des pontes de *P. xylostella* sur les feuilles protégées (sous filet), non protégées (sans filet) et sur les différents filets testés en situation de choix dans une boîte de Pétri

Annexe 4 : Résultats des tests d'oviposition de *P. xylostella* face à des plants protégés en situation sans choix

Annexe 4-a : Test de Conover-Iman à 1% de comparaison du nombre d'œufs pondus par 4 femelles de *P. xylostella* sur les feuilles, les filets et au total sur des plants protégés par des filets monofilaments et multifilaments en contact ou sans contact avec les feuilles, en situation sans choix

Annexe 5 : Résultats des tests d'oviposition de *P. xylostella* face à des plants protégés en situation de choix

Annexe 5-a : Test de Conover-Iman à 1% de comparaison des pontes de 4 femelles de *P. xylostella* sur les feuilles et les filets lorsqu'elles sont en situation de choix face à des plants protégés par des filets monofilament et multifilament avec ou sans contact foliaire et d'un plant non protégé (témoin)

Annexe 1 : Test d'efficacité des filets comme barrière physique

Annexe 1-a : Résultats du test de Fisher LSD à 5% de comparaison bilatérale des taux de passage des adultes de *P. xylostella* à travers les filets

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff
Témoin vs Filbio 317	1,312	18,527	2,101	< 0,0001
Témoin vs TIP 1700	0,989	13,968	2,101	< 0,0001
Témoin vs Bénin	0,522	7,365	2,101	< 0,0001
Témoin vs IIC mono	0,522	7,365	2,101	< 0,0001
Témoin vs Mousti IIC	0,120	1,691	2,101	0,108
Mousti IIC vs Filbio 317	1,192	16,836	2,101	< 0,0001
Mousti IIC vs TIP 1700	0,870	12,277	2,101	< 0,0001
Mousti IIC vs Bénin	0,402	5,674	2,101	< 0,0001
Mousti IIC vs IIC mono	0,402	5,674	2,101	< 0,0001
IIC mono vs Filbio 317	0,791	11,162	2,101	< 0,0001
IIC mono vs TIP 1700	0,468	6,603	2,101	< 0,0001
IIC mono vs Bénin	0,000	0,000	2,101	1,000
Bénin vs Filbio 317	0,791	11,162	2,101	< 0,0001
Bénin vs TIP 1700	0,468	6,603	2,101	< 0,0001
TIP 1700 vs Filbio 317	0,323	4,559	2,101	0,000

Annexe 2 : Résultats du test d'oviposition de *P. xylostella* sans choix en boîte de Pétri

Annexe 2-a : Test de Conover-Iman à 5% de comparaison des pontes de *P. xylostella* sur des supports différents en condition sans choix en boîte de Pétri

Variable	Observations	Moyenne	Ecart-type	Boîte vide	Boîte+feuille	Boîte+feuille+filet IIC mono	Boîte+feuille+filet Mousti IIC	Boîte+filet IIC mono	Boîte+filet Mousti IIC
Boîte vide	12	3,917	9,268	1	0,001	0,033	0,111	0,149	0,824
Boîte+feuille	12	26,667	20,281	0,001	1	0,160	0,052	0,036	0,001
Boîte+feuille+filet IIC mono	12	13,500	13,345	0,033	0,160	1	0,577	0,477	0,055
Boîte+feuille+filet Mousti IIC	12	11,167	14,917	0,111	0,052	0,577	1	0,878	0,169
Boîte+filet IIC mono	12	11,917	17,630	0,149	0,036	0,477	0,878	1	0,220
Boîte+filet Mousti IIC	12	4,417	7,994	0,824	0,001	0,055	0,169	0,220	1

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0033

Annexe 2-b : Test de Conover-Iman à 5% de comparaison des pontes de *P. xylostella* sur les feuilles et les filets en condition sans choix en boîte de Pétri

	Moyenne	Ecart-type	Boîte +feuille (feuille)	Boîte+feuille+ IIC mono (filet)	Boîte+feuille+ IIC mono (feuille)	Boîte+feuille+ Mousti IIC (filet)	Boîte+feuille+ Mousti IIC (feuille)	Boîte+IIC mono (filet)	Boîte+Mousti IIC (filet)
Boîte +feuille (feuille)	9,750	12,679	1	0,001	0,244	0,001	0,077	< 0,0001	< 0,0001
Boîte+feuille+IIC mono (filet)	0,583	1,505	0,001	1	0,025	0,932	0,101	0,382	0,382
Boîte+feuille+IIC mono (feuille)	6,083	9,643	0,244	0,025	1	0,031	0,536	0,002	0,002
Boîte+feuille+ Mousti IIC (filet)	1,000	2,892	0,001	0,932	0,031	1	0,120	0,337	0,337
Boîte+feuille+Mousti IIC (feuille)	3,250	4,864	0,077	0,101	0,536	0,120	1	0,013	0,013
Boîte+IIC mono (filet)	0,000	0,000	< 0,0001	0,382	0,002	0,337	0,013	1	1,000
Boîte+Mousti IIC (filet)	0,000	0,000	< 0,0001	0,382	0,002	0,337	0,013	1,000	1

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0024

Annexe 3 : Résultats des tests d'oviposition de *P. xylostella* en situation de choix entre plusieurs supports de ponte en boîte de Pétri

Annexe 3-a : Test de Conover-Iman à 1% de comparaison des pontes de *P. xylostella* sur des supports en situation de choix dans une boîte de Pétri

Variable	Moyenne	Ecart-type	Feuille	Filet Mousti IIC	Filet IIC mono	Boite
Feuille	6,233	8,07	1	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Filet Mousti IIC	0,000	0,00	< 0,0001	1	0,745	0,030
Filet IIC mono	0,033	0,18	< 0,0001	0,745	1	0,065
Boite	0,500	1,14	< 0,0001	0,030	0,065	1

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0017

Annexe 3-b : Test de Conover-Iman à 1% de comparaison des pontes de *P. xylostella* sur les feuilles protégées (sous filet), non protégées (sans filet) et sur les filets en situation de choix dans une boîte de Pétri

Variable	Observations	Moyenne	Ecart-type	Feuilles sans filet	Feuilles sous filets	Filets
Feuilles sans filet	21	31,143	22,184	1	< 0,0001	< 0,0001
Feuilles sous filets	21	5,810	6,562	< 0,0001	1	0,047
Filets	21	2,524	3,558	< 0,0001	0,047	1

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0033

Annexe 3-c : Test de Conover-Iman à 1% de comparaison des pontes de *P. xylostella* sur les feuilles protégées (sous filet), non protégées (sans filet) et sur les différents filets testés en situation de choix dans une boîte de Pétri

Variable	Observations	Moyenne	Ecart-type	Feuille sans filet	Feuille sous filet Mousti IIC	Feuille sous filet IIC mono	Feuille sous filet TIP1700	Filet Mousti IIC	Filet IIC mono	Filet TIP 1700
Feuille sans filet	21	31,143	22,184	1	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Feuille sous filet Mousti IIC	21	3,714	4,027	< 0,0001	1	0,005	0,007	0,011	< 0,0001	0,001
Feuille sous filet IIC mono	21	1,095	2,278	< 0,0001	0,005	1	0,892	0,769	0,105	0,703
Feuille sous filet TIP 1700	21	1,000	2,025	< 0,0001	0,007	0,892	1	0,875	0,080	0,605
Filet Mousti IIC	21	1,762	3,254	< 0,0001	0,011	0,769	0,875	1	0,056	0,500
Filet IIC mono	21	0,190	0,402	< 0,0001	< 0,0001	0,105	0,080	0,056	1	0,214
Filet TIP 1700	21	0,571	0,978	< 0,0001	0,001	0,703	0,605	0,500	0,214	1

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0005

Annexe 4 : Résultats des tests d'oviposition de *P. xylostella* face à des plants protégés en situation sans choix

Annexe 4-a : Test de Conover-Iman à 1% de comparaison du nombre d'œufs pondus par 4 femelles de *P. xylostella* sur les feuilles, les filets et au total sur des plants protégés par des filets monofilaments et multifilaments en contact ou sans contact avec les feuilles, en situation sans choix

	Moyenne	Ecart-type	Mono Feuille	Mono Filet	Mono Total	Mono Contact Feuille	Mono Contact Filet	Mono Contact Total	Multi Feuille	Multi Filet	Multi Total	Multi Contact Feuille	Multi Contact Filet	Multi Contact Total	Témoin Feuille	Témoin Filet	Témoin Total
Mono-Feuille	0,000	0,000	1	0,106	0,106	< 0,0001	0,093	< 0,0001	1,000	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1,000	< 0,0001
Mono-Filet	4,125	5,793	0,106	1	1,000	< 0,0001	0,951	< 0,0001	0,106	0,001	0,001	0,000	0,001	< 0,0001	< 0,0001	0,106	< 0,0001
Mono-Total	4,125	5,793	0,106	1,000	1	< 0,0001	0,951	< 0,0001	0,106	0,001	0,001	0,000	0,001	< 0,0001	< 0,0001	0,106	< 0,0001
Mono+contact-Feuille	101,875	55,517	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1	< 0,0001	0,664	< 0,0001	0,013	0,013	0,063	0,026	0,836	0,052	< 0,0001	0,052
Mono+contact-Filet	2,000	2,204	0,093	0,951	0,951	< 0,0001	1	< 0,0001	0,093	0,002	0,002	0,000	0,001	< 0,0001	< 0,0001	0,093	< 0,0001
Mono+contact-Total	100,875	61,362	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,664	< 0,0001	1	< 0,0001	0,040	0,040	0,152	0,071	0,522	0,018	< 0,0001	0,018
Multi-Feuille	0,000	0,000	1,000	0,106	0,106	< 0,0001	0,093	< 0,0001	1	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1,000	< 0,0001
Multi-Filet	62,750	50,443	< 0,0001	0,001	0,001	0,013	0,002	0,040	< 0,0001	1	1,000	0,526	0,799	0,008	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Multi-Total	62,750	50,443	< 0,0001	0,001	0,001	0,013	0,002	0,040	< 0,0001	1,000	1	0,526	0,799	0,008	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Multi+contact-Feuille	55,625	39,431	< 0,0001	0,000	0,000	0,063	0,000	0,152	< 0,0001	0,526	0,526	1	0,705	0,039	0,000	< 0,0001	0,000
Multi+contact-Filet	48,125	39,448	< 0,0001	0,001	0,001	0,026	0,001	0,071	< 0,0001	0,799	0,799	0,705	1	0,015	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Multi+contact-Total	103,750	38,018	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,836	< 0,0001	0,522	< 0,0001	0,008	0,008	0,039	0,015	1	0,082	< 0,0001	0,082
Témoin-Feuille	176,750	70,350	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,052	< 0,0001	0,018	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,000	< 0,0001	0,082	1	< 0,0001	1,000
Témoin-Filet	0,000	0,000	1,000	0,106	0,106	< 0,0001	0,093	< 0,0001	1,000	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1	< 0,0001
Témoin-Total	176,750	70,350	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,052	< 0,0001	0,018	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,000	< 0,0001	0,082	1,000	< 0,0001	1

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0001

Annexe 5 : Résultats des tests d'oviposition de *P. xylostella* face à des plants protégés en situation de choix

Annexe 5-a : Test de Conover-Iman à 1% de comparaison des pontes de 4 femelles de *P. xylostella* sur les feuilles et les filets lorsqu'elles sont en situation de choix face à des plants protégés par des filets monofilament et multifilament avec ou sans contact foliaire et d'un plant non protégé (témoin)

	Moyenne	Ecart-type	Mono feuille	Mono Filet	Mono+ contact Feuille	Mono+ contact Filet	Multi Feuille	Multi Filet	Multi+ contact Feuille	Multi+ contact Filet	Témoin Feuille
Mono-feuille	0,000	0,000	1	0,087	< 0,0001	0,040	1,000	0,066	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Mono-Filet	1,067	2,685	0,087	1	< 0,0001	0,727	0,087	0,900	< 0,0001	0,001	< 0,0001
Mono+contact-Feuille	26,733	31,272	< 0,0001	< 0,0001	1	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,117	0,008	0,003
Mono+contact-Filet	0,867	1,506	0,040	0,727	< 0,0001	1	0,040	0,823	< 0,0001	0,003	< 0,0001
Multi-Feuille	0,000	0,000	1,000	0,087	< 0,0001	0,040	1	0,066	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Multi-Filet	1,333	3,016	0,066	0,900	< 0,0001	0,823	0,066	1	< 0,0001	0,002	< 0,0001
Multi+contact-Feuille	13,533	16,466	< 0,0001	< 0,0001	0,117	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1	0,262	< 0,0001
Multi+contact-Filet	7,200	10,785	< 0,0001	0,001	0,008	0,003	< 0,0001	0,002	0,262	1	< 0,0001
Témoin-Feuille	85,467	63,850	< 0,0001	< 0,0001	0,003	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0002